МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

Е. А. ЛЕВИТИН

РАБОЧИЕ РЕЖИМЫ ЛАМП В ПРИЕМНИКАХ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАМПЫ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Приводимые ниже примеры показывают, как режим лампы определяет ее усилительные свойства и как один и тот же тип ламп может быть использован самым различным образом в зависимости от выбранного режима работы.

Наиболее гибкими в этом отношении являются многосеточные лампы и в первую очередь — пентоды, например лампа типа 6Ж7.

Лампа 6Ж7 является высокочастотным пентодом с короткой характеристикой и в основном предназначена для работы в качестве усилителя высокой частоты. Для такого случая рекомендуется следующий режим использования лампы:

1. При нормальном анодном напряжении:

Напряжение на аноде	250 *в*
Напряжение на экранирующей сетке	100 *в*
Напряжение смещения на управляющей сетке	—3 *в*
Анодный ток	2 *ма*
Экранный ток	0,5 *ма*
Крутизна характеристики	1,25 *ма/в*
Коэффициент усиления	1 500
Внутреннее сопротивление	1,2 *мгом*

Та же лампа при более низком анодном напряжении (например, в приемниках с универсальным питанием) обладает уже другими параметрами:

Напряжение на аноде	100 *в*
Напряжение на экране	100 *в*
Напряжение смещения на управляющей сетке	—3 *в*
Анодный ток	2 *ма*
Экранный ток	0,5 *ма*
Крутизна характеристики	1,2 *ма/в*
Коэффициент усиления	1 200
Внутреннее сопротивление	1,0 *мгом*

Приведенных типовых данных достаточно для расчета усилительного каскада с заданными нагрузками.

Продолжение на 3 стр. обложки

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 61

Е. А. ЛЕВИТИН

РАБОЧИЕ РЕЖИМЫ ЛАМП В ПРИЕМНИКАХ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

В брошюре излагаются сведения о том, что такое рабочий режим ламп, чем этот режим определяется и как его следует выбирать для того, чтобы обеспечить наиболее выгодное использование лампы в приемнике. Описываются также способы проверки режима ламп в радиоаппаратуре.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор Д. А. Канашинский **Техн. редактор С. Н. Бабочкин**

Сдано в набор 30/I 1950 г. Подписано к печати 17/V 1950 г.
Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32} = ^3/_4$ бумажных — 2,46 печ. л., уч.-изд. л. 3
Т-04307 Тираж 50 000 Зак. 84

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

ВВЕДЕНИЕ

Высокий уровень развития современной радиотехники в значительной мере связан с успехами, достигнутыми в области электронных ламп, которые представляют сердце каждого радиотехнического прибора. Электронные лампы выполняют в радиоаппаратуре самые разнообразные функции — усиливают колебания высокой и низкой частоты, генерируют колебания любых частот, детектируют модулированные колебания высокой частоты, используются для осуществления различных автоматических регулировок, для измерительных целей и для многих других назначений. В зависимости от назначения к лампам предъявляются различные требования, которые определяют конструкцию ламп того или иного типа. Предметом нашего дальнейшего рассмотрения будут служить приемно-усилительные лампы, применяемые в радиоприемной аппаратуре.

Имеющиеся в нашем распоряжении приемно-усилительные лампы дают возможность осуществления радиоприемников самого различного типа, от простейших одноламповых, работающих на телефон, и до сложных многоламповых образцов, обеспечивающих возможность приема весьма слабых станций на громкоговоритель с громкостью, достаточной для большого зала. При этом качество работы радиоприемника в очень существенной мере зависит от того, насколько правильно выбраны лампы для того или иного каскада приемника и от того, насколько правильно эти лампы используются. Использование же ламп полностью зависит от режима их работы, т. е. от условий, в которые конструктор поставил лампу в приемнике.

Лампы одного и того же типа, одной и той же конструкции могут дать большее или меньшее усиление или мощность в зависимости от режима работы. При правильном выборе рабочего режима лампа может дать максимум возможного усиления, а при недостаточно грамотно выбранном режиме ока-

жется в значительной мере недоиспользованной и может дать результаты, значительно хуже ожидаемых.

Настоящая брошюра посвящена вопросу о том, что такое рабочий режим лампы и как нужно подходить к его выбору. Приводимые ниже сведения должны помочь радиолюбителю грамотно и сознательно подойти к выбору режима ламп в своем приемнике и дать ему возможность наилучшим образом использовать лампы во вновь создаваемых конструкциях приемников с целью получения от приемника хороших результатов.

ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАМП И ИХ ЗНАЧЕНИЕ

Количество различных типов приемно-усилительных ламп весьма велико. Давно прошли те времена, когда во всех каскадах приемника использовалась одна и та же лампа «микро», которая выполняла самые разнообразные функции — от усилителя высокой частоты и до оконечной лампы. Современная радиотехника располагает богатым ассортиментом ламп специализированных типов, которые обеспечивают высококачественную работу различных каскадов сложнейшего приемника супергетеродинного типа. Отечественной промышленностью выпускаются радиолампы различных типов и конструкций, позволяющие создавать радиоаппаратуру самого различного назначения и для самых различных частот, вплоть до наиболее высоких частот — так называемого сантиметрового диапазона; мы остановимся лишь на приемно-усилительных лампах, используемых в радиовещательных приемниках.

Приемно-усилительные лампы можно разбить на несколько групп. По конструкции, по количеству электродов различаются двухэлектродные лампы — диоды, трехэлектродные лампы — триоды, четырехэлектродные (двухсеточные) — тетроды, пятиэлектродные (трехсеточные) — пентоды и семиэлектродные (пятисеточные) — гептоды. Кроме того, имеются комбинированные лампы, объединяющие в одном баллоне два или больше простейших типов, как, например, комбинации из диода и триода, из двух диодов и триода, из одного или двух диодов и пентода, из двух триодов и т. п.

По назначению можно различать лампы для усиления напряжения высокой частоты, лампы для генерирования колебаний высокой частоты, лампы для преобразования частоты, для детектирования, для усиления напряжения низкой частоты, для усиления мощности низкой частоты, лампы специльных типов — индикаторы настройки, лампы для выпрямления переменного тока, неоиовые лампы для стабилизации напряжения, лампы для стабилизации тока и др.

Наконец, приемно-усилительные лампы делятся на лампы прямого накала с питанием от батарей и аккумуляторов и на лампы косвенного накала или с подогревным катодом для питания от сетей переменного тока.

Каждая группа состоит обычно из нескольких типов ламп одного и того же назначения, но отличающихся теми или ииыми свойствами или характеристиками. Из каждой группы может быть выбран тот тип лампы, который иаилучшим образом удовлетворяет поставленным требованиям. Например, в группе триодов с подогревным катодом имеются лампы 6Ф5 и 6С5; 6Ф5 предназначается специально для усилителей по реостатной схеме, а 6С5 — для трансформаторного усиления. В группе высокочастотных пентодов косвенного накала имеются лампы: 6К7, применяемая в тех случаях, когда требуется регулировка усиления в широких пределах, 6Ж7, используемая тогда, когда такое требование не предъявляется, 6АЖ5, лампа, так называемой, пальчиковой конструкции, малогабаритная, 6АС7 для телевизионного приема и др. Каждая из этих ламп обладает своими особенностями, которые делают ее особенно пригодной, по сравнению с остальными лампами той же группы, для тех или иных случаев использования.

При выборе лампы приходится исходить из соображений как чисто электрического, так и экономического характера, пользуясь прежде всего заводскими данными о том или ином типе ламп.

Эти данные должны давать о лампе сведения, которые позволили бы, во-первых, определить, для каких целей та или иная лампа более всего подходит, и, во-вторых, рассчитать элементы схемы, в которой будет использована лампа, и подсчитать результаты (т. е. усиление, мощность и т. п.),

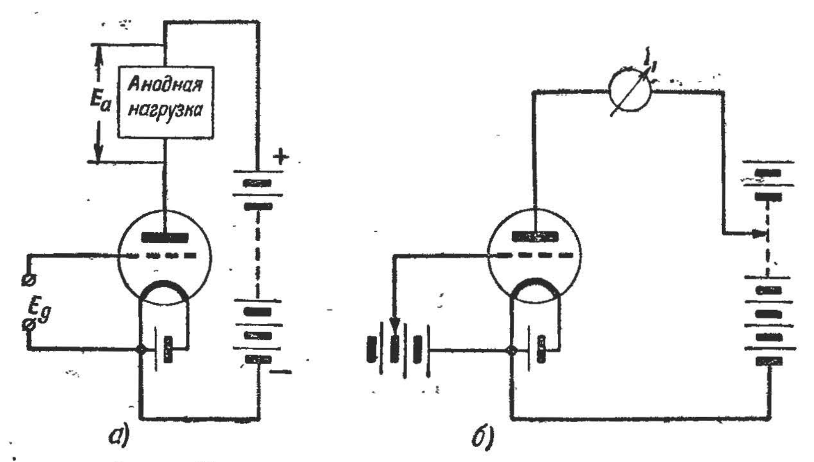
которые будут получены от прибора, собранного по этой схеме.

Для оценки усилительных свойств лампы служат так называемые параметры, характеризующие ее основные электрические показатели. Основными параметрами лампы являются коэффициент усиления, обозначаемый буквой μ, крутизна характеристики, обозначаемая буквой S, и внутреннее сопротивление, обозначаемое R_i. Зная эти три параметра, можно подсчитать усиление, которое дает лампа в схеме. Однако, одних этих параметров недостаточно для полного расчета; кроме них потребуется целый ряд сведений об анодном напряжении, о напряжении накала, о токах в различных цепях лампы и т. д. Только имея полные характеристики лампы, можно с исчерпывающей полнотой произвести необходимые расчеты. Подробно вопрос о работе электронных ламп и о параметрах усилительных ламп рассматривается в выпуске 1 «Массовой библиотеки», в книге Бажанова «Как работает электронная лампа». Здесь мы только напомним, в чем заключается физический смысл параметров усилительной лампы и что представляют собой характеристики лампы.

Как известно, смысл использования усилительных ламп в радиоаппаратуре заключается в том, что, подводя небольшое переменное напряжение в сетке лампы, мы можем получить значительные колебания тока в ее анодной цепи, причем форма колебаний анодного тока будет повторять форму напряжения на сетке. Включая в анодную цепь нужную нам нагрузку (фиг. 1,*а*), через которую будет проходить анодный ток, мы получим на этой нагрузке падение напряжения; величина этого напряжения будет пропорциональна величине анодного тока. Колебания анодного тока, происходящие под действием колебаний напряжения на сетке, вызовут появление на анодной нагрузке переменного напряжения E_a, которое может быть во много раз больше, чем напряжение E_g на сетке лампы[1]. Таким образом, в анодной цепи лампы происходит усиление напряжения, подведенного к ее сетке, и усилительные свойства лампы определяются зависимостями, которые существуют у нее между напряжением на сетке и током в цепи анода.

---

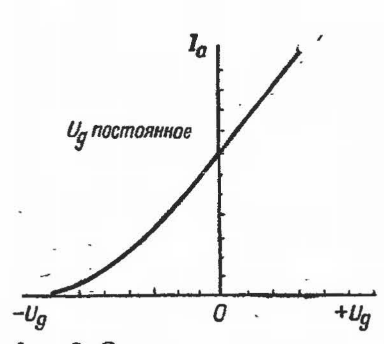
[1] В дальнейшем буквой *E* обозначается переменное напряжение, а буквой *U*—постоянное.



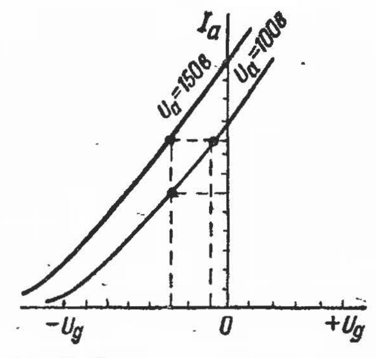
Фиг. 1. Принцип получения усиленного напряжения в анодной цепи лампы.

Основная характеристика лампы, приведенная на фиг.2, дает графическое изображение этой зависимости. По оси абсцисс откладывается напряжение на сетке лампы (положительное — вправо от нуля и отрицательное — влево от нуля), а по оси ординат — ток в цепи анода. Поддерживая напряжение на аноде постоянным и изменяя только величину напряжения на сетке, можно изменять величину анодного тока от нуля и до некоторого, допустимого для данной лампы значения. Характер изменения анодного тока выражается кривой фиг. 2, которая носит название **сеточной характеристики лампы**. У разных ламп одинаковые изменения напряжения на сетке вызывают неодинаковое изменение анодного тока (здесь имеется в виду прямолинейная или рабочая часть характеристики). Чем круче идет характеристика, тем больше будет величина изменения анодного тока. Наклон или крутизна сеточной характеристики является, следовательно, одной из величин, определяющих качество работы лампы.

Количественно крутизна характеристики показывает, на сколько миллиампер изменяется анодный ток лампы, когда напряжение на ее сетке изменяется на 1 *в*. Если, например, у лампы 6Ф6 изменение напряжения на сетке U_g с —20 до —15 *в*, т. е. на 5 *в*, вызывает изменение анодного тока с 22,5 до 35 *ма* (на 12,5 *ма*), то крутизна характеристики будет 2,5 *ма* на вольт. Символически это выражается так:



Фиг. 2. Сеточная характеристика трехэлектродной лампы.



Фиг. 3. Сеточные характеристики лампы при разных анодных напряжениях.

$S = 2{,}5$ *ма/в*. Чем больше крутизна характеристики, т. е. чем более резко меняется анодный ток при изменении напряжения на сетке, тем лучше усилительные свойства лампы, тем большее усиление она будет давать. Поэтому стараются получить у ламп по возможности большую (иногда говорят — высокую) крутизну характеристики S.

Сущность другого параметра, характеризующего лампу — ее коэффициента усиления μ, заключается в следующем: величину анодного тока лампы можно менять не только за счет изменения напряжения на сетке, но и за счет изменеиия напряжения на аноде. Повышение напряжения на аноде вызывает увеличение анодного тока. На фиг. 3 приведены две характеристики одной и той же лампы, из которых одна снята при анодном напряжении $U_a = 100$ *в*, а вторая — при $U_a = 150$ *в*. Из этих характеристик мы видим, что одинаковое измеиение анодиого тока на 3 *ма* (от 6 до 9 *ма*) можно получить, либо поддерживая напряжение на аноде постоянным и изменяя напряжение на сетке на 2 *в* (с —3 до —1 *в*), либо поддерживая неизменным напряжение на сетке и изменяя напряжение на аноде на 50 *в*. Очевидно, что 50 *в* на аноде оказывают такое же действие на анодный ток, как 2 *в* на сетке. Иначе говоря, измеиение напряжеиия на сетке оказывает значительно более сильное влияние на величину анодного тока, чем такое же изменение напряжения на аноде; анодиый ток лампы сильнее меняется под действием напряжения на сетке, чем под действием иапряжения на аноде. Число, показывающее, на сколько вольт иужно изме-

нить напряжение на аноде для того, чтобы получить такое же изменение анодного тока, которое получается при изменении напряжения на сетке на 1 *в*, называется коэффициентом усиления лампы μ. Физический смысл этого параметра можно уяснить, рассматривая схему фиг. 1, *б*. Предположим, что изменение напряжения на сетке на 1 *в* вызвало такое же изменение анодного тока, которое было бы получено, если бы напряжение анодной батареи увеличилось на 25 *в*. Следовательно, напряжение на сетке производит в 25 раз более сильное действие на ток в анодной цепи лампы, чем напряжение на ее аноде. Величина $\mu = 25$ выражает эту зависимость и показывает, что, изменив напряжение на сетке на 1 *в*, мы как бы ввели в анодную цепь дополнительно 25 *в*. Если на сетку такой лампы подается переменное напряжение в 1 *в*, то для ее анодной цепи это эквивалентно как бы включению источника переменного тока с напряжением в 25 *в*. В общем виде это можно выразить так: коэффициент усиления лампы μ показывает, что напряжение на сетке вызывает такое же воздействие на анодный ток, как если бы в анодную цепь было введено в μ раз большее напряжение. За счет этого якобы введенного дополнительного напряжения появляется усиленное напряжение E_a на анодной нагрузке (фиг. 1, *а*). Однако, следует отметить, что при наличии такой нагрузки значение E_a практически никогда не будет в μ раз больше, чем E_g; как будет показано дальше, E_a всегда будет несколько меньше, чем $\mu \cdot E_g$. Поэтому иногда величину μ называют статическим коэффициентом усиления лампы, в отличие от действительного усиления или коэффициента усиления каскада, о котором говорится на стр. 18.

Третий параметр лампы—ее внутреннее сопротивление—также требует некоторого пояснения. В соответствии с законом Ома под сопротивлением R какой-либо цепи понимается отношение напряжения U, действующего в этой цепи, к току I, который вызван этим напряжением: $R = \frac{U}{I}$.

В усилительной лампе мы имеем дело с двумя видами анодного тока: с постоянным током, протекающим в анодной цепи под действием постоянного напряжения анодной батареи, и с переменным током, т. е. с изменениями тока, возникающими под действием изменений анодного напряжения.

Постоянная слагающая анодного тока играет вспомогательную роль и не принимает непосредственного участия в усилении. Все усилительное действие лампы связано с переменной слагающей анодного тока. В зависимости от конструкции и параметров лампы одинаковые изменения анодного напряжения могут вызывать у разных ламп различные изменения анодного тока. Соотношения между изменениями анодного напряжения и вызываемыми ими изменениями анодного тока характеризуют внутреннее сопротивление лампы, как усилителя. Это внутреннее сопротивление R_i выражается также законом Ома с той лишь разницей, что в числителе отношения должно стоять значение не постоянного напряжения анодной батареи U_a, а значение изменения или колебания анодного напряжения, которое мы обозначим ΔU_a; соответственно этому в знаменателе должно стоять значение изменения или колебания анодного тока ΔI_a, которое вызвано этим изменением напряжения на аноде,

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}.$$

Если, например, изменение напряжения на аноде $\Delta U_a = 25$ *в* вызывает изменение анодного тока $\Delta I_a = 1$ *ма*, то внутреннее сопротивление лампы будет:

$$R_i = \frac{25}{0{,}001} = 25\,000 \text{ ом}.$$

(Чтобы получить сопротивление в омах, нужно напряжение выразить в вольтах, а ток — в амперах; если ток выразить в миллиамперах, то значение сопротивления будет получено в килоомах.)

Все три основных параметра лампы связаны между собой определенной зависимостью:

$$\frac{S \cdot R_i}{\mu} = 1^*.$$

* Строго говоря, это равенство верно только для триода. Для многосеточных ламп оно оказывается не вполне точным, но практически им можно пользоваться и для ламп с несколькими сетками.

Поэтому, зная два параметра, всегда можно определить третий:

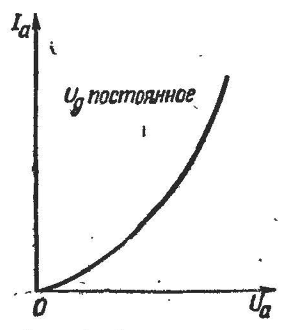
$$\mu = S \cdot R_i,$$

$$R_i = \frac{\mu}{S},$$

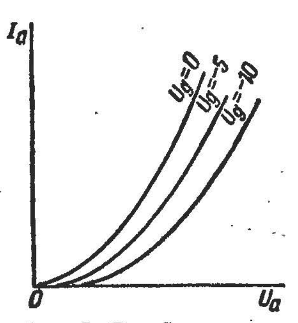
$$S = \frac{\mu}{R_i}.$$

Так же, как и в приведенном выше примере, R_i будет выражено в килоомах, если S выражено в *ма/в*; чтобы значение R_i получить в омах, нужно S выразить в *а/в*.

Как уже указывалось, знание параметров лампы необходимо для расчета усилительного каскада. Кроме того, для ряда расчетов бывают необходимы так называемые анодные характеристики лампы. Такая характеристика приведена на фиг. 4. Она показывает, как зависит анодный ток лампы от напряжения на ее аноде. По оси абсцисс откладывается анодное напряжение, а по оси ординат — анодный ток. При снятии такой характеристики напряжение на сетке лампы U_g поддерживается постоянным. Если снять для лампы несколько таких характеристик, отличающихся величиной напряжения на сетке, при котором каждая из них снималась, то можно получить так называемое семейство анодных характеристик (фиг. 5), которое бывает необходимо в целом ряде случаев, в частности, для расчета выходного каскада приемника.



Фиг. 4. Анодная характеристика трехэлектродной лампы.



Фиг. 5. Семейство анодных характеристик лампы.

До сих пор мы рассматривали показатели, характеризующие лампу с точки зрения ее усилительного действия. При использовании ламп в приемнике приходится учитывать, кроме того, и ряд их эксплоатационных показателей. В качестве наиболее существенных из этих показателей можно назвать экономичность питания, однородность параметров и срок службы.

Экономичность питания имеет значение, главным образом, в батарейных приемниках, где она часто играет решающую роль. В этом случае желательно использовать лампы, потребляющие возможно малую мощность накала (малый ток и низкое напряжение накала) и возможно малый анодный ток. В некоторых случаях экономичность питания может иметь значение и в приемниках с питанием от сети переменного тока.

Однородность параметров имеет особое значение в приемниках промышленного выпуска, рассчитанных на широкого потребителя. В таких приемниках замена лампы, вышедшей из строя, на новую лампу не должна требовать никаких дополнительных подстроек и регулировок приемника. Это возможно лишь в том случае, если лампы достаточно однородны, т. е. их параметры относительно мало отличаются друг от друга. Возможный разброс параметров должен быть учтен конструктором приемника и элементы приемника должны быть рассчитаны так, чтобы различные экземпляры ламп одного типа, отличающиеся друг от друга в пределах установленных допусков, работали в приемнике примерно одинаково и чтобы смена ламп не вызывала его заметного ухудшения. Этот вопрос имеет большое значение для аппаратуры широкого потребления. Для любительских конструкций он также является существенным, но в несколько меньшей степени, так как любитель всегда имеет возможность в случае смены ламп проверить свой приемник и при необходимости подрегулировать его снова.

Срок службы лампы имеет чисто экономическое значение. Чем больше срок службы, тем выгоднее оказывается использование лампы, тем дешевле обходится эксплоатация приемника. Срок службы лампы, гарантируемый заводом-изготовителем, обычно указывается в технической документации для данного типа ламп. Однако, действительный срок службы лампы во многом зависит от характера ее использования. При правильном подходе к этому вопросу срок службы лампы часто может быть значительно повышен по сравнению с га-

рантийным, и наоборот, — неправильное использование лампы, перегрузка ее может вызвать преждевременный выход ее из строя.

Как уже указывалось, усиление каскада с данной лампой определяется параметрами лампы и величиной анодной нагрузки. Для ламп, работающих в качестве усилителей напряжения высокой или низкой частоты основным требованием является получение возможно большего переменного напряжения на анодной нагрузке при подведении некоторого определенного напряжения к сетке лампы. Если усиленное переменное напряжение на анодной нагрузке обозначить через E_a, а напряжение на сетке, под действием которого появляется это усиленное напряжение в анодной цепи, обозначить через E_g, то усиления каскада K будет определяться, как отношение $\frac{E_a}{E_g}$. Величину K называют также **коэффициентом усиления каскада**; следует помнить, что эту величину отнюдь нельзя отождествлять с коэффициентом усиления лампы μ.

Из теории известно, что величина усиления каскада K может быть подсчитана по следующей формуле:

$$K = \mu \frac{R_a}{R_a + R_i},$$

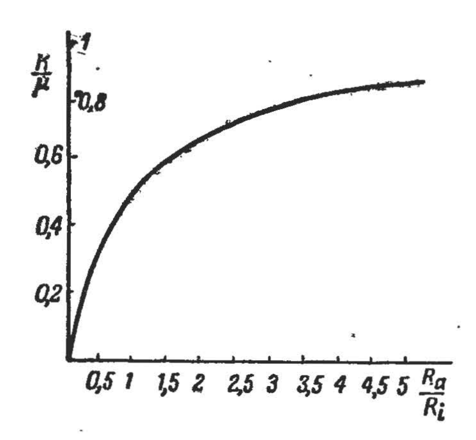
где μ и R_i — известные уже нам параметры лампы — ее коэффициент усиления и внутреннее сопротивление;
R_a — величина анодной нагрузки.

При этом R_a и R_i должны быть выражены в одних и тех же единицах — омах или килоомах.

Приведенное выше выражение может быть переписано в несколько иной форме, если числитель и знаменатель правой части разделить на R_a. Получим:

$$K = \mu \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_a}}.$$

Из этих выражений видно, что усиление каскада будет расти с увеличением значения R_a и будет тем больше, чем больше R_a по сравнению с R_i. Это особенно явно следует из второй формулы, когда R_a значительно больше R_i, второй член в знаменателе становится очень мал, вся дробь прибли-



Фиг. 6. Кривая зависимости усиления каскада от величины анодной нагрузки.

жается к единице и величина усилеиия каскада приближается к величине коэффициента усиления лампы μ, но может стать равной μ лишь в том предельном случае, когда сопротивление анодной нагрузки станет равно бесконечности, т. е. когда второй член в знаменателе становится равным нулю. Диаграмма фиг. 6 показывает, как растет усиление каскада при увеличении отношения $\frac{R_a}{R_i}$*. Это отношение отложено по горизонтальной оси, а по вертикальной отложены значения отношения $\frac{K}{\mu}$. При $\frac{R_a}{R_i} = 3$ действительное усиление составляет уже 75% от μ.

В случае, когда нагрузка R_a представляет омическое сопротивление, увеличивать его до весьма больших значений не удается, так как одновременно с этим увеличивается и падение постоянного напряжения на этом сопротивлении. Это напряжение получается за счет анодной батареи и поэтому на такую же величину соответственно уменьшается фактическое напряжение на аноде лампы, что нарушает ее нормальную работу.

Если лампа работает в каскаде усиления высокой частоты, то анодную нагрузку обычно представляет не омическое сопротивление, а настроенный колебательный коитур. При настройке в резонанс иа усиливаемую частоту резонансное сопротивление контура $Z_{рез}$ сильно возрастает и приобретает для резонансной частоты свойства чисто омического сопро-

---

* Этим отношением удобнее пользоваться, чем отиошением $\frac{R_i}{R_a}$, представляющим обратную ему величину.

тивления. Усиление высокочастотного каскада определяется по той же формуле с заменой R_a на $Z_{рез}$ и выражается как

$$K_p = \mu \frac{Z_{рез}}{R_i + Z_{рез}} = \mu \frac{1}{1 + \frac{R_i}{Z_{рез}}}.$$

При этом остаются в силе высказанные ранее соображения о характере зависимости усиления каскада от величины нагрузки: чем лучше колебательный контур и чем больше его $Z_{рез}$, тем больше усиление каскада, тем больше оно приближается к значению μ.

Усиление каскада может быть выражено не только через μ и R_i; приводимая ниже формула позволяет подсчитать усиление каскада, если известно значение крутизны характеристики S.

Для усилителя на сопротивлениях

$$K = S \frac{R_a}{1 + \frac{R_a}{R_i}},$$

а для усилителя с контуром в цепи анода

$$K_p = S \frac{Z_{рез}}{1 + \frac{Z_{рез}}{R_i}}.$$

В случае, когда сопротивление анодной нагрузки не превосходит величины внутреннего сопротивления лампы, а наоборот,— оказывается значительно меньше ее, т. е. $R_a \ll R_i$, расчетная формула для усиления каскада упрощается и приближенно в таком случае можно считать, что $K = S \cdot R_a$ или $K_p = S \cdot Z_{рез}$. Это выражение будет тем ближе к истине, чем меньше R_a или $Z_{рез}$ по сравнению с R_i.

Приведенные выше краткие сведения о расчете усилительного каскада дают наглядное представление о том, как зависит работа усилителя от параметров используемых в нем ламп. Пользуясь приведенными выше формулами, можно заранее представить себе, какие лампы и с какими параметрами нужно выбрать для той или иной цели и какое действительное усиление они дадут в выбранной схеме. В одном случае, например в усилителе на сопротивлениях,—выгод-

ными оказываются лампы с большим μ; в другом, например для усилителя низкой частоты по трансформаторной схеме, нужно применять лампу с малым внутренним сопротивлением R_i. Но поскольку параметры лампы связаны между собой определенной зависимостью (стр. 11), увеличение или уменьшение одиого из них неизбежио влечет изменение остальных параметров. Например, увеличение коэффициента усиления μ ведет к увеличению внутреннего сопротивления R_i. Величина R_i может остаться неизменной только в том случае, если у лампы одновременно с увеличением μ во столько же раз увеличится и крутизна характеристики S. Можно отметить, что высокая S оказывается выгодной во всех случаях.

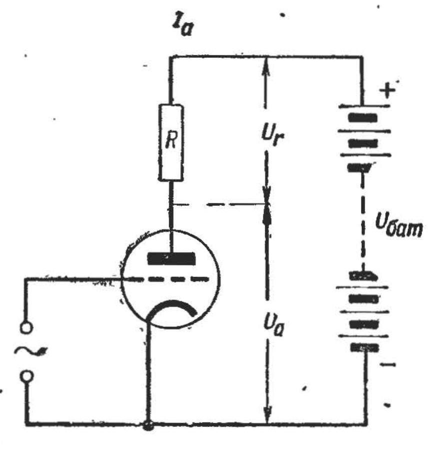
Параметры лампы определяются ее конструкцией и зависят, во-первых, от геометрических размеров электродов и, во-вторых, от свойств катода, который является источником электронов. Для нормальной работы лампы, для создания внутри нее необходимых электрических полей, под действием которых электроны совершают свой путь от катода к аноду, к электродам лампы должны быть приложены определенные напряжения. В триоде положительное напряжение подводится к аноду и некоторое, относительно небольшое отрицательное напряжение — к сетке. В пентоде положительное напряжение подается на анод и на экранирующую сетку, отрицательное — на управляющую сетку. Все эти напряжения — постоянные, берутся они обычно от источников постоянного тока и назначением их является создание для лампы некоторых начальных, исходных условий, при которых лампа оказывается готовой для выполнения в приемнике своих основных функций — усиления колебаний высокой или низкой частоты, генерирования таких колебаний, детектирования и т. д. Эти исходные условия называют режимом работы лампы.

Само собой разумеется, что для выполнения перечисленных выше функций во внешние цепи различных электродов лампы включаются определенные элементы схемы, в комбинации с которыми лампа и образует соответствующий каскад приемника.

РАБОЧИЙ РЕЖИМ ЛАМПЫ И ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ЛАМПЫ ОТ ЕЕ РЕЖИМА

Когда лампа находится в схеме приемника и в ее анодную цепь включено высокоомное сопротивление (фиг. 7), действительное напряжение на аноде оказывается меньше, чем напря-

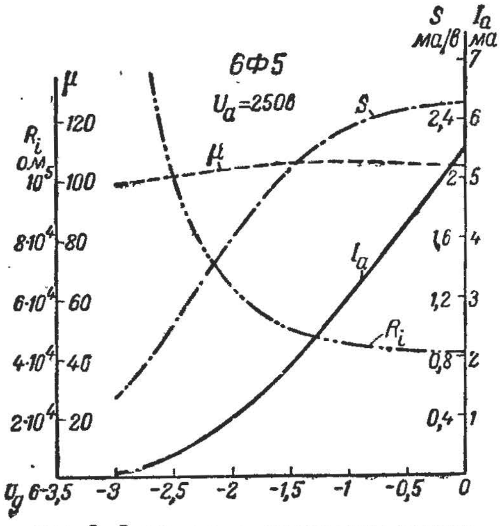
жение анодной батареи (или другого источника питания анодной цепи). За счет постоянной слагающей анодного тока (называемой иногда током покоя) на сопротивлении нагрузки образуется некоторое падение напряжения, и на такую же величину уменьшается напряжение на аноде по сравнению с напряжением анодной батареи. К этому обстоятельству нам придется еще вернуться в дальнейшем, пока же следует заметить, что действительное напряжение на электродах лампы в рабочей схеме может отличаться от напряжения, подаваемого от источников питания.



Фиг. 7. Распределение напряжения анодной батареи.

Выше мы говорили о том, что параметры лампы определяются ее конструкцией. Это, однако, не совсем точно. Кроме геометрических размеров электродов на параметры лампы оказывает влияние также и распределение электрических полей внутри нее; при этом оказывается, что чем больше у лампы сеток, тем в большей мере зависят параметры от напряжения на этих сетках и на аноде, т. е. от режима лампы. Меньше всего зависят параметры от режима у триодов — ламп с одной сеткой. У таких ламп, как пентоды — т. е. у трехсеточных, — зависимость параметров лампы от режима оказывается уже очень сильной.

У триодов коэффициент усиления в пределах рабочей части характеристики мало изменяется и остается почти постоянным. Крутизна характеристики, как и у всех ламп, меняется. На прямолинейном участке, где наклон характеристики остается постоянным, величина S также постоянна; в нижней части, где характеристика искривляется, крутизна ее, естественно, изменяется и становится меньше. Чем более полого идет характеристика, тем меньше ее крутизна. На фиг. 8 приведена диаграмма, иллюстрирующая ход изменения параметров триода 6Ф5 в зависимости от напряжения на управляющей сетке при постоянном напряжении на аноде.



Фиг. 8 Зависимость параметров триода от напряжения на управляющей сетке.

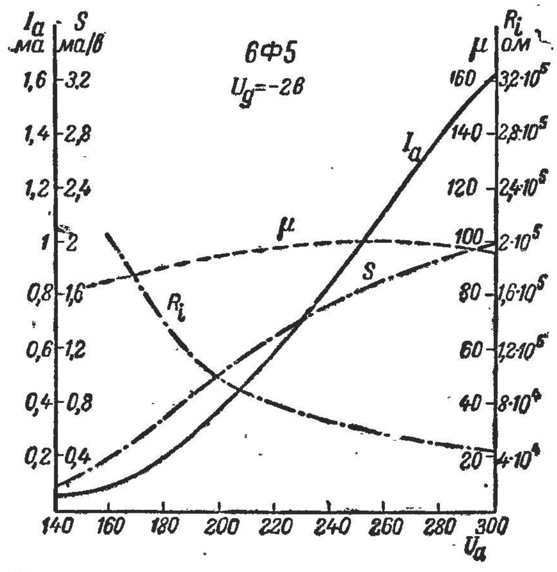
Коэффициент усиления, как показывают кривые фиг. 8, в незначительной степени меняет свою величину при изменении напряжения на сетке и остается более или менее постоянным. Так, например, у лампы 6Ф5 при анодном напряжении 250 *в* крутизна характеристики имеет значение 1,6 *ма/в* при смещении $U_g = -2$ *в*; при увеличении смещения до —3 *в* значение крутизны уменьшается до 0,5 *ма/в*. При тех же значениях смещения коэффициент усиления изменяется всего лишь в пределах от $\mu = 105$ при $U_g = -2$ *в* до $\mu = 100$ при $U_g = -3$ *в*; можно считать, что практически μ остается неизменным. Поскольку значение внутреннего сопротивления связано с коэффициентом усиления и крутизной характеристики определенной зависимостью — $R_i = \frac{\mu}{S}$, то уменьшение S влечет за собой увеличение R_i (в случае, когда μ остается неизменным).

Параметры триода зависят также и от величины анодного напряжения. Зависимость эта имеет примерно тот же характер, что и в предыдущем случае, и иллюстрируется кривыми фиг. 9. Если напряжение на управляющей сетке остается постоянным, то при понижении анодного напряжения крутизна характеристики будет уменьшаться. Коэффициент усиления изменяется при этом значительно меньше и практически его можно считать неизменным. По тем же причинам, что и в предыдущем случае, внутреннее сопротивление триода становится выше при понижении анодного напряжения. Для той же лампы 6Ф5 (фиг. 9) имеют место такие соотношения при смещении на сетке в —2 *в*:

	Анодное напряжение	
	250 *в*	160 *в*
S =	1,6 *ма/в*	0,4 *ма/в*
μ =	103	85
R_i =	65 *ком*	212 *ком*

Таким образом, оказывается, что параметры триода зависят от его режима совершенно определенным образом; можно сказать, что **параметры триода ухудшаются с понижением напряжения на аноде и с увеличением отрицательного смещения на сетке.** Мы говорим об **ухудшении** параметров, так как при всех обстоятельствах усиление каскада с данной лампой уменьшается, если крутизна характеристики уменьшается и внутреннее сопротивление увеличивается. Следовательно, понижение напряжения на аноде и увеличение смещения на сетке приводят к уменьшению усиления каскада. Этими зависимостями пользуются, когда по каким-либо соображениям нужно понизить усиление.

Такой характер зависимости параметров от режима оказывается у всех триодов, но у разных ламп эта зависимость может быть выражена более резко или менее резко.



Фиг. 9. Зависимость параметров триода от напряжения на аноде.

Мы не отмечали выше, что анодный ток триода также изменяется в зависимости от режима. Эта зависимость имеет совершенно естественный характер — анодный ток будет тем меньше, чем ниже анодное напряжение и чем больше отрицательное смещение на сетке. Сопоставляя эти обе зависимости — анодного тока и параметров — можно сделать еще и такой вывод — более экономичный режим для триода связан с ухудшением его параметров. Это, однако, не значит, что усиление каскада должно быть всегда меньше при более экономичном режиме. Если лампа работает в качестве усилителя напряжения, то, как это следует из формулы стр. 13, выбирая сопротивление анодной нагрузки R_a значительно больше внутреннего сопротивления лампы R_i, можно получить значительное усиление каскада даже при малом значении анодного тока и при малом напряжении, остающемся фактически на аноде лампы.

Что же касается усилителей мощности, то для них понижение анодного напряжения и увеличение смещения всегда связаны с уменьшением мощности, отдаваемой каскадом с данной лампой.

Полезная выходная мощность $P_{вых}$, отдаваемая лампой, может быть выражена через ее параметры следующим образом:

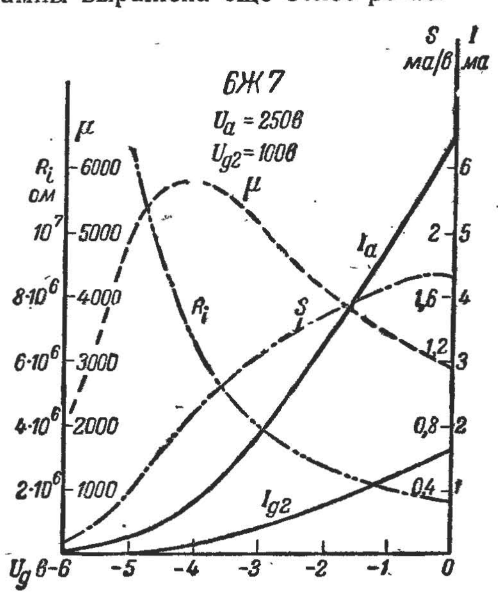
$$P_{вых} = \mu S \frac{R_a R_i}{2(R_a + R_i)^2} E_{mg}^2,$$

где E_{mg} — амплитуда переменного напряжения на сетке, а значения остальных величин ясны из предыдущего. Очевидно, что понижение усиления происходит вследствие двух причин: во-первых, вследствие ухудшения параметров лампы и, во-вторых, вследствие уменьшения рабочего участка характеристики (имеется в виду — сеточной характеристики), которая перемещается вправо при уменьшении анодного напряжения; это, в свою очередь, приводит к необходимости уменьшить амплитуду переменного напряжения, подводимого к сетке, поскольку использована может быть только та часть характеристики, которая лежит влево от $U_g = 0$, т. е. в области отрицательных напряжений на сетке, при отсутствии сеточного тока. Приведенная же ранее формула для выражения выходной мощности через параметры лампы говорит о том, что выходная мощность прямо пропорциональна произведению из μ на S и квадрату амплитуды переменного напряжения

на сетке E_{mg}. Совершенно очевидно, что уменьшение μ, S и E_{mg} ведет к резкому уменьшению выходной мощности.

У многосеточных ламп, как уже отмечалось, зависимость параметров от режима лампы выражена еще более резко.

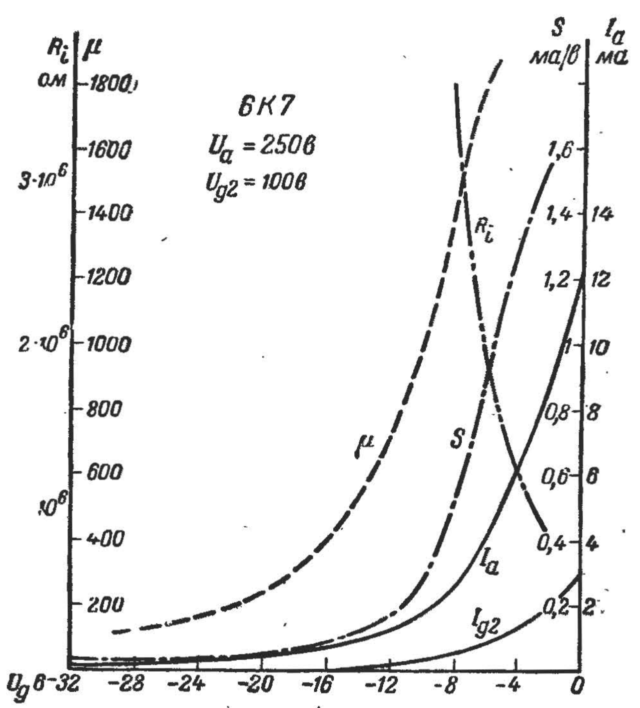
Наиболее употребительным типом являются трехсеточные лампы — пентоды. Эти лампы применяются очень широко как для усиления высокой, так и низкой частоты. При работе в качестве усилителя высокой частоты пентод выполняет функции только усилителя напряжения, и возможность подбирать различные значения параметров лампы, варьируя ее режим путем изменения напряжения на аноде и на всех сетках, делает высокочастотный пентод весьма гибкой лампой, позволяя создавать наивыгоднейшие условия для данного приемника. Это может сводиться, к получению наибольшего возможного усиления или к получению максимальной экономичности питания при достаточном усилении и т. д.



Фиг. 10. Сеточная характеристика высокочастотного пентода с короткой характеристикой.

Прежде всего следует напомнить о том, что у многосеточных ламп, и особенно у высокочастотных пентодов, коэффициент усиления μ и внутреннее сопротивление R_i оказываются во много раз больше, чем у триодов. Для ламп, используемых в качестве усилителей напряжения высокой частоты, это является ценным свойством, позволяющим получить большое усиление без ухудшения качества высокочастотных контуров.

Начнем с рассмотрения сеточных характеристик высокочастотных пентодов. По форме сеточных характеристик различаются два типа высокочастотных пентодов: с короткой и



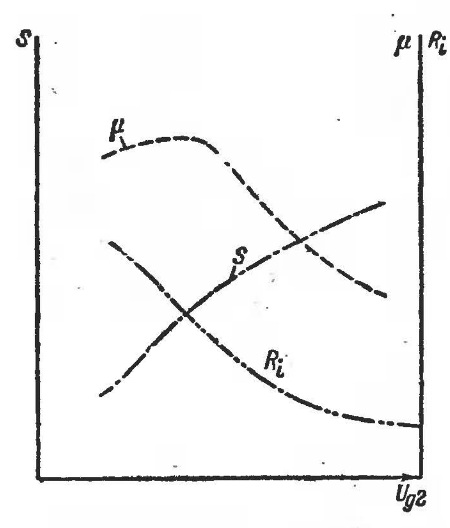
Фиг. 11. Сеточная характеристика высокочастотного пентода с удлиненной характеристикой.

с удлиненной характеристикой (второй тип называют иногда лампами с переменной крутизной).

У ламп первого типа характеристика анодного тока имеет такой же вид, как и у триодов; анодный ток прекращается уже при относительно небольшом смещении, порядка 6—8 *в* (фиг. 10), а у ламп второго типа благодаря особой конструкции управляющей сетки нижняя часть характеристики сильно удлинена и анодный ток прекращается лишь при очень больших значениях отрицательного смещения на управляющей сетке, порядка нескольких десятков вольт (фиг. 11). Эта удлиненная часть характеристики, или «хвост», как ее обычно называют, идет очень полого, т. е. обладает очень небольшой крутизной. На тех же фигурах одна из пунктирных кривых показывает, как изменяется крутизна характеристики в зависимости от смещения на управляющей сетке. У ламп с корот-

кой характеристикой эта зависимость напоминает то, что имеет место у триодов. У пентодов с удлиненной характеристикой крутизна изменяется вначале примерно так же, а затем «на хвосте» характеристики изменение крутизны принимает другой характер и напоминает форму характеристики анодного тока той же лампы. Характерно также и то, что в этой области коэффициент усиления лампы μ уменьшается значительно более резко, чем это наблюдается у триодов. Удлиненная нижняя часть характеристики («хвост») используется, как известно, для регулировки усиления в широких пределах путем изменения напряжения смещения на управляющей сетке. Чем больше смещение, тем меньше усиление лампы. В то же время форма «хвоста» достаточно прямолинейна, а это допускает возможность усиления переменного напряжения с довольно большой амплитудой без опасности возникновения нелинейных искажений. Таким образом, чем больше отрицательное смещение на сетке лампы, тем более сильный сигнал можно подводить к сетке в рабочей точке; поскольку же при этом усиление каскада уменьшается, усиленное напряжение в анодной цепи будет возрастать в гораздо меньшей степени, чем сигнал на сетке. Если смещение на сетке будет увеличиваться при увеличении сигнала и рабочая точка будет соответственно передвигаться влево, то усиленное напряжение после лампы будет оставаться более или менее постоянным независимо от того, какая станция принимается, мощная или слабая, далекая или близкая. Регулировка усиления в современных приемниках при использовании ламп с подобными характеристиками осуществляется автоматически при помощи различных схем так называемой автоматической регулировки чувствительности (АРЧ). Не следует смешивать это название с автоматической регулировкой частоты, которая также иногда обозначается АРЧ.

Весьма большой практический интерес представляет возможность управления параметрами пентода при помощи изменения напряжения на его экранирующей сетке. Потенциал этой сетки играет исключительную роль в смысле определения усилительных свойств пентода. Для всех пентодов, как низкочастотных, так и высокочастотных, имеет место такая зависимость: с повышением напряжения на экранирующей сетке крутизна характеристики увеличивается, а с понижением этого напряжения — уменьшается. Поскольку для усилительных каскадов, использующих пентоды, почти всегда сопротивление

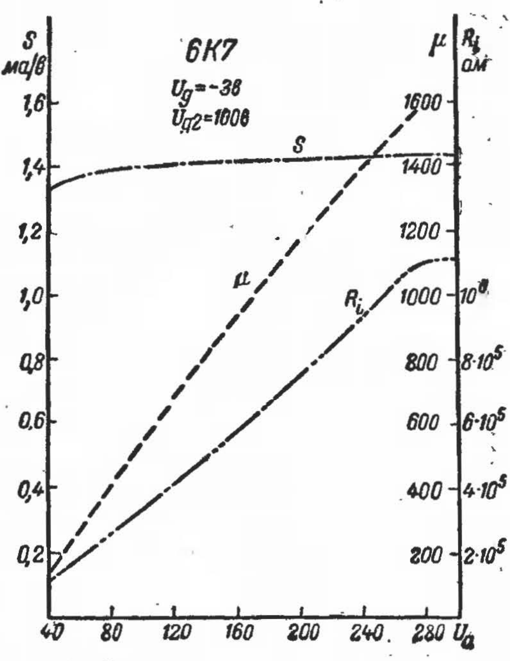


Фиг. 12. Зависимость параметров пентода от напряжения на экранирующей сетке.

нагрузки оказывается значительно меньше внутреннего сопротивления лампы, усиление таких каскадов с достаточной степенью приближения к истине может быть определено по упрощенной формуле $K=S\cdot R_a$ или $K=S\cdot Z_{рез}$. Поэтому крутизна характеристики является основным параметром, определяющим усиление пентода; следовательно, значение напряжения на экранирующей сетке, которое в свою очередь определяет величину крутизны характеристики, является наиболее ответственным элементом режима лампы. На фиг. 12 показано, как зависят крутизна и остальные параметры высокочастотного пентода от величины напряжения на экранирующей сетке при постоянном напряжении на аноде и на управляющей сетке. Следует заметить, что величина μ может изменяться по несколько иному закону в зависимости от конструкции сеток лампы (влияние конструкции управляющей сетки мы уже наблюдали у ламп с удлиненной характеристикой), но в общем характер изменения μ остается примерно таким же. Что же касается крутизны характеристики S и внутреннего сопротивления R_i, то приведенная на фиг. 12 зависимость оказывается типичной для всех пентодов.

Весьма своеобразным оказывается влияние анодного напряжения на параметры высокочастотного пентода. На величину крутизны характеристики анодное напряжение практически никакого влияния не оказывает (фиг. 13). Следовательно, учитывая изложенное выше, можно было бы сделать вывод о том, что и на усиление каскада величина анодного напряжения не влияет. Однако, в отношении двух других параметров—коэффициента усиления лампы μ и внутренне-

го сопротивления R_i анодное напряжение свое действие оказывает и притом весьма заметно. Зависимости эти имеют вполне определенный характер: как коэффициент усиления лампы, так и ее внутреннее сопротивление возрастают при повышении напряжения на аноде лампы, причем зависимость μ и R_i от U_a оказывается почти линейной, т. е. оба эти параметра растут почти прямо пропорционально анодному напряжению.

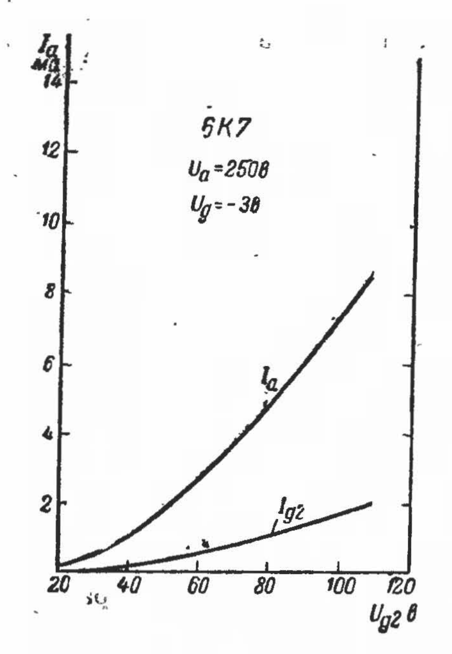


Фиг. 13. Зависимость параметров пентода от напряжения на аноде.

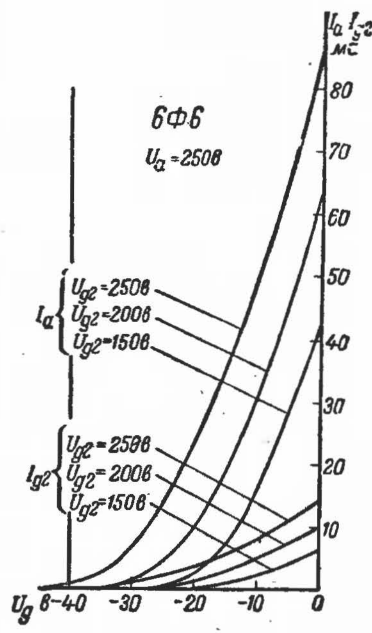
Эта зависимость μ и R_i от величины U_a не оказывает особо заметного влияния на величину усиления каскада, но имеет весьма существенное значение в усилителе высокой частоты, в котором анодную нагрузку представляет настроенный контур. В этом случае избирательность каскада зависит от того, насколько сильно внутреннее сопротивление лампы шунтирует контур, т. е. ухудшает его. Чем выше значение R_i, тем меньше сказывается шунтирующее действие лампы на форме резонансной характеристики контура, тем лучше избирательность каскада.

Несколько иначе приходится рассуждать, когда высокочастотный пентод используется в качестве усилителя на сопротивлениях. В этом случае, который подробнее рассматривается дальше, напряжение на экранирующей сетке приходится уменьшать только с одной целью — для уменьшения величины анодного тока.

Особо существенное значение, которое имеет для пентода



Фиг. 14. Зависимость анодного и экранного тока от напряжения на экранирующей сетке.



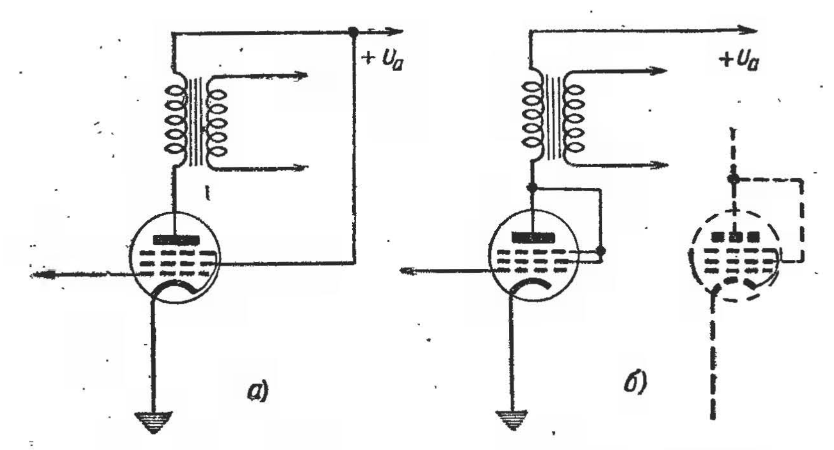
Фиг. 15. Сеточные характеристики пентода при разных напряжениях на экранирующей сетке.

напряжение на экранирующей сетке, требует того, чтобы на этом вопросе остановиться подробнее.

Величина напряжения на экранирующей сетке влияет не только на параметры пентода, но и на величину анодного тока лампы. Если смещение на управляющей сетке пентода остается неизменным, то величина анодного тока при разных значениях напряжения на экранирующей сетке будет различной; эту зависимость иллюстрирует фиг. 14. Само собой разумеется, что изменения напряжения на управляющей сетке будут вызывать соответствующие изменения анодного тока независимо от величины экранного напряжения, но при разных экранных напряжениях сеточные характеристики лампы будут отличаться друг от друга, а именно: чем ниже напряжение на экранирующей сетке, тем меньше будет анодный ток в каждой точке характеристики; сеточная характеристика как бы передвинется вправо (фиг. 15). Соответственно изменяется и характеристика экранного тока.

Изложенные выше замечания о роли экранного напряжения дают возможность использовать это напряжение для того, чтобы получить у лампы параметры, наиболее выгодные для того или иного случая. Однако, это не исчерпывает всех возможностей, которые могут быть получены от трехсеточной лампы. Параметры такой лампы могут быть изменены еще более резко путем различного соединения ее сеток. Так, если экранирующую сетку соединить непосредственно с анодом, то лампа превращается в триод, у которого анод состоит как бы из двух частей: одной его частью является экранирующая сетка, а второй — собственно анод. То, что между этими электродами находится защитная (противодинатронная) сетка, соединенная с катодом, не играет сколько-нибудь существенной роли. Параметры лампы принимают значения, характерные для триодов — коэффициент усиления уменьшается в десятки и даже сотни раз по сравнению с пентодным включением и внутреннее сопротивление соответственно уменьшается. Так, например, высокочастотный пентод 6Ж7 при пентодном включении в режиме: $U_a = 250$ *в*, $U_{g2} = 100$ *в*; $U_{g1} = -3$ *в* обладает следующими параметрами: $S = 1{,}25$ *ма/в*, $\mu = 1\,500$, $R_i = 1500$ *ком*. Та же лампа при триодном соединении сеток, т. е. при экранирующей сетке, соединенной с анодом, и в режиме: $U_a = 250$ *в*, $U_{g1} = -8$ *в* имеет такие параметры: $S = 1{,}9$ *ма/в*, $\mu = 20$, $R_i = 10{,}5$ *ком*. Для низкочастотного пентода 6Ф6 при $U_a = 250$ *в*, $U_{g2} = 250$ *в* и $U_{g1} = -17$ *в* параметры выражаются следующими цифрами: $S = 2{,}5$ *ма/в*, $\mu = 200$, $R_i = 80\,000$ *ом*; при триодном соединении и при $U_a = 250$ *в*, $U_{g1} = -20$ *в* крутизна характеристики $S = 2{,}7$ *ма/в*, коэффициент усиления $\mu = 7$ и внутреннее сопротивление $R_i = 2\,600$ *ом*.

Здесь следует обратить внимание на то, что хотя в обоих случаях для каждой из ламп 6Ф6 и 6Ж7 экранное напряжение равно 250 *в*, разные значения параметров получаются вследствие принципиально различного включения экранирующей сетки: при пентодном включении (фиг. 16,*а*) экранирующая сетка играет вспомогательную роль — создает дополнительное ускорение электронов. Потенциал ее остается неизменным и переменного напряжения на этой сетке не должно быть, так как нагрузки для переменного тока в ее цепи нет. При триодном включении (фиг. 16,*б*) эта сетка соединена



Фиг. 16. Схемы различного включения сеток пентода: *а*—пентодное включение; *б*—триодное включение.

непосредственно с анодом и анодная нагрузка оказывается включенной также и в ее цепь; следовательно, в этом случае эта сетка играет не роль вспомогательного ускорителя электронов, а выполняет функции дополнительного анода, как бы переместившегося ближе к управляющей сетке. Потенциал экранирующей сетки уже не остается постоянным при наличии колебаний на управляющей сетке — на экранирующей сетке, как и на аноде, появляется переменное напряжение за счет падения напряжения на общей нагрузке.

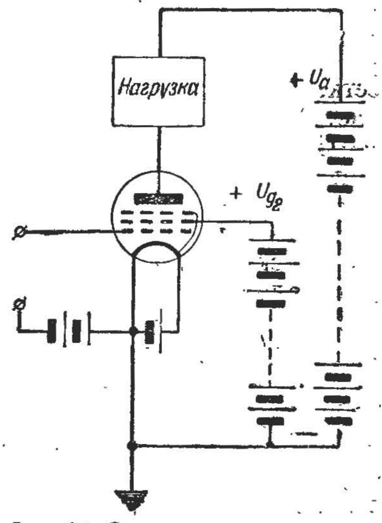
Подводя итоги сказанному о пентоде, можно сделать вывод о том, что возможности управления его параметрами путем создания для лампы надлежащего режима делают лампы этого типа весьма гибкими в смысле использования в радиотехнических схемах и позволяют применять один и тот же тип ламп для разных целей.

Пятисеточные лампы — гептоды, — применяемые в супергетеродинных радиоприемниках в качестве смесителей и преобразователей частоты, в отношении параметров подчиняются тем же законам, что и пентоды. Эти лампы представляют как бы комбинацию триода с тетродом (6А8) или с пентодом (6SA7). Триодная часть, образованная катодом и ближайшими к нему двумя сетками, используется обычно в качестве гетеродина, а остальные сетки и основной анод лампы образуют либо экранированную лампу (6А8), либо высокочастотный пентод (6SA7, 6А10), который выполняет усилительные

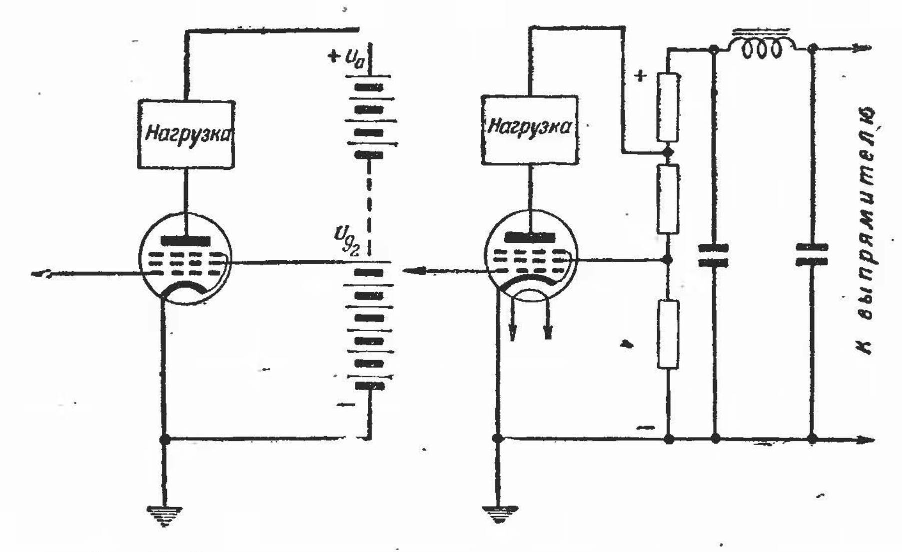
функции. Параметры этой части лампы зависят от потенциала экранирующей сетки точно так же, как и в обычном высокочастотном пентоде. Вследствие сложности процессов, происходящих в смесительных и преобразовательных лампах, конечный эффект, т. е. усиление сигнала, преобразованного в новую частоту, находится в более сложной зависимости от режима, чем в высокочастотном пентоде, но общий характер остается таким же — повышение напряжения на экранирующей сетке ведет к увеличению усиления.

СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ НУЖНОГО РЕЖИМА ЛАМПЫ

Мы рассмотрели зависимость параметров различных видов ламп от режима и установили, что в различном режиме, т. е. при разных значениях напряжения на аноде, на экранирующей и на управляющей сетках одна и та же лампа может обладать разными параметрами. Следовательно, для того, чтобы наилучшим образом использовать лампу, нужно создать для нее надлежащий режим или, как говорят, поставить ее в соответствующий режим. Это сводится, прежде всего, к тому, чтобы создать нужные постоянные напряжения на электродах лампы — на аноде, на управляющейся сетке, на экранирующей сетке и других сетках, если они есть. Проще всего это сделать, если для питания каждой цепи имеется отдельный источник питания, как это показано на фиг. 17. Практически такая система питания встречается крайне редко. В действительных условиях это может быть, например, анодная батарея с несколькими отводами или выпрямитель, имеющий делитель напряжения, с которого снимаются требуемые напряжения (фиг. 18). Такой способ питания ламп дает возможность создать для них в приемнике требуемый исходный режим, но отличается



Фиг. 17. Схема питания электродов лампы от различных источников.

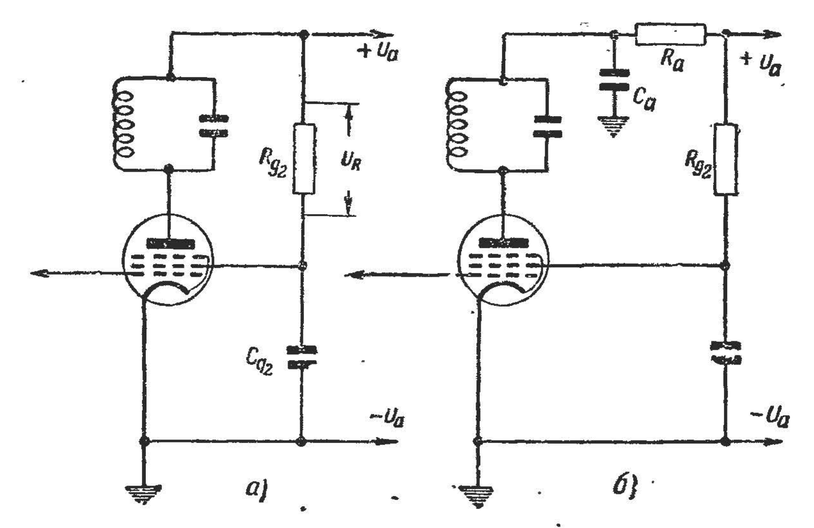


Фиг. 18. Схема питания электродов лампы от общего источника.

сложностью выполнения и достигается относительно дорогой ценой. Выпрямитель, например, расходует при таком устройстве значительную мощность бесполезно—эта мощность просто теряется в делителе напряжения. Кроме того, устройство выпрямителя усложняется.

Значительно бо́льшим распространением пользуется способ создания нужного режима при помощи сопротивлений и конденсаторов, включаемых последовательно в цепь соответствующих электродов лампы; в этом случае источник питания дает напряжение одного значения, а различные напряжения на разных электродах лампы создаются уже в самой схеме приемника. Типичная схема усилительного каскада с использованием высокочастотного пентода с подогревным катодом приведена на фиг. 19,*а*. Рассмотрим, какими средствами в этом случае для лампы создан нужный режим.

Напряжение на аноде равно напряжению источника питания, т. е. выпрямителя. Напряжение на экранирующей сетке должно быть ниже, чем на аноде. Это понижение достигается с помощью сопротивления R_{g2}, включенного последовательно в цепь экранирующей сетки. На этом сопротивлении образуется некоторое падение напряжения за счет прохождения через него экранного тока I_{g2}.



Фиг. 19. Схема усилительного каскада на пентоде.

Величина этого падения равна $U'_R = I_{g2}R_{g2}$. Если, например, экранный ток $I_{g2} = 1$ *ма* (т. е. 0,001 *а*), а сопротивление $R_{g2} = 100\,000$ *ом*, то падение напряжения на этом сопротивлении составит $0{,}001 \cdot 100\,000 = 100$ *в*. Предположим, что выпрямитель дает напражение, разное 250 *в*, которое подается на анод. Тогда на экранирующую сетку будет подаваться напряжение $U_{g2} = U_a - I_{g2} \cdot R_{g2}$, т. е. в данном случае $250 - 100 = 150$ *в*. Если выпрямитель дает напряжение более высокое, чем требуется для питания анода, то в анодную цепь последовательно с полезной нагрузкой — настроенным контуром — можно включить сопротивление R_a (фиг. 19, *б*); тогда действительное напряжение на аноде будет меньше напряжения выпрямителя на величину, равную падению напряжения на сопротивлении R_a за счет прохождения по нему анодного тока лампы. Подсчет этого напряжения производится аналогично приведенному выше примеру. Такой случай может иметь место, например, если выпрямитель рассчитан на питание выходного каскада, требующего повышенного анодного напряжения.

Во всех случаях, когда в цепь какого-либо электрода включается сопротивление, назначением которого является создание требуемого режима путем понижения напряжения

на этом электроде, необходимо шунтировать такое сопротивление достаточно большой емкостью, которая должна представлять возможно малое сопротивление для переменных токов, проходящих по данной цепи. Тогда участок цепи, состоящий из сопротивления, зашунтированного емкостью, будет представлять большое сопротивление для постоянного тока и ничтожно малое — для переменного. Только при наличии такой емкости гасящее сопротивление будет полноценно выполнять свое назначение. В противном случае на нем будет происходить также и падение переменного напряжения, что приведет к нарушению нормальной работы схемы за счет появления обратных связей, которые могут вызывать либо уменьшение усиления (в случае отрицательной связи), либо возникновение паразитного самовозбуждения (в случае положительной связи). В экранной цепи, например, отсутствие такой развязки привело бы к появлению на сопротивлении R_{g2} (а следовательно, и на экранирующей сетке) переменного напряжения, причем знак этого напряжения в каждый момент будет противоположен знаку переменного напряжения на управляющей сетке и усиление будет уменьшаться.

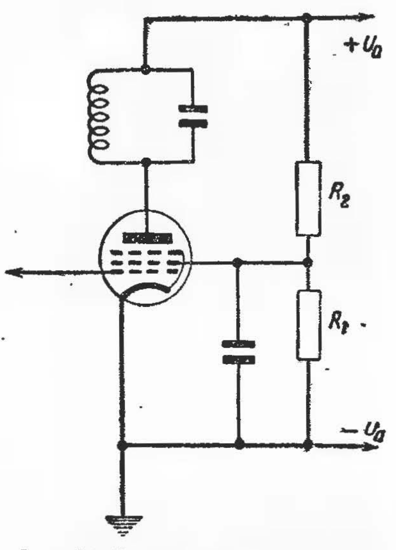
Величину емкости нужно выбирать так, чтобы ее реактивное сопротивление для переменного тока рабочей частоты X_c было весьма мало, значительно меньше, чем сопротивление R постоянному току. Например, в усилителе промежуточной частоты при $F = 460$ *кгц* в экранную цепь включено для понижения напряжения сопротивление в 50 000 *ом*. Емкость, шунтирующая это сопротивление на землю, равна 0,01 *мкф*. Реактивное сопротивление этой емкости для частоты 460 *кгц* будет:

$$X_c = \frac{1}{2\pi F \cdot C} = \frac{10^6}{6{,}28 \cdot 460 \cdot 10^3 \cdot 0{,}01} = 30 \text{ ом}.$$

Совершенно очевидно, что для токов высокой частоты (460 *кгц*) такое сопротивление ничтожно по сравнению с сопротивлением в 50 000 *ом*, и падением напряжения этой частоты на конденсаторе (а вместе с тем и на шунтируемом им сопротивлении) можно практически пренебречь.

Такая схема питания экранной цепи обладает своими достоинствами и недостатками, которые сказываются при смене ламп. Происходит это потому, что экранные токи у разных экземпляров ламп одного и того же типа могут довольно сильно отличаться. А это значит, что падение напряжения на экранном сопротивлении будет при разных экземплярах ламп

различным, а вместе с тем различным будет и напряжение на экранирующей сетке. Разница в режиме может привести к изменению усиления при смене ламп и к нарушению нормальной работы приемника. Чтобы избежать этого, можно напряжение на экранирующую сетку подавать не с помощью включенного последовательно гасящего сопротивления, а посредством делителя напряжения, образованного двумя сопротивлениями (фиг. 20). Поскольку деление напряжения в этом случае получается с помощью элементов схемы, независимых от лампы — сопротивлений,— величина напряжения, подаваемого на экран, не должна изменяться при смене ламп.



Фиг. 20. Схема подачи напряжения на экранирующую сетку при помощи делителя напряжения.

Однако, если внимательно проанализировать такую схему, то окажется, что смена ламп и в этом случае будет вызывать изменение напряжения на экране, хотя и в значительно меньшей степени. Происходит это потому, что через верхнее плечо делителя напряжения, т. е. через сопротивление R_2, в действительности, кроме тока делителя, проходит еще дополнительно и экранный ток лампы, который создает дополнительное падение напряжения. Это нужно учитывать при расчете деления напряжения. Если ток экранирующей сетки мал по сравнению с током самого делителя, то изменения этого тока при смене ламп мало отразятся на величине экранного напряжения. Поэтому для обеспечения постоянства экранного напряжения нужно для делителя выбирать такие сопротивления, чтобы ток через них превышал экранный ток лампы, т. е сопротивления, которые в сумме не превосходят 4—5 десятков тысяч ом. Тогда ток через них будет порядка 5—6 *ма*. Этот по существу бесполезный ток, разумеется, отражается на общем потреблении выпрямленного тока — увеличивает его.

Однако, описанный ранее недостаток схемы последовательного питания экранной цепи может быть рационально использован. Дело в том, что у ламп одного и того же типа

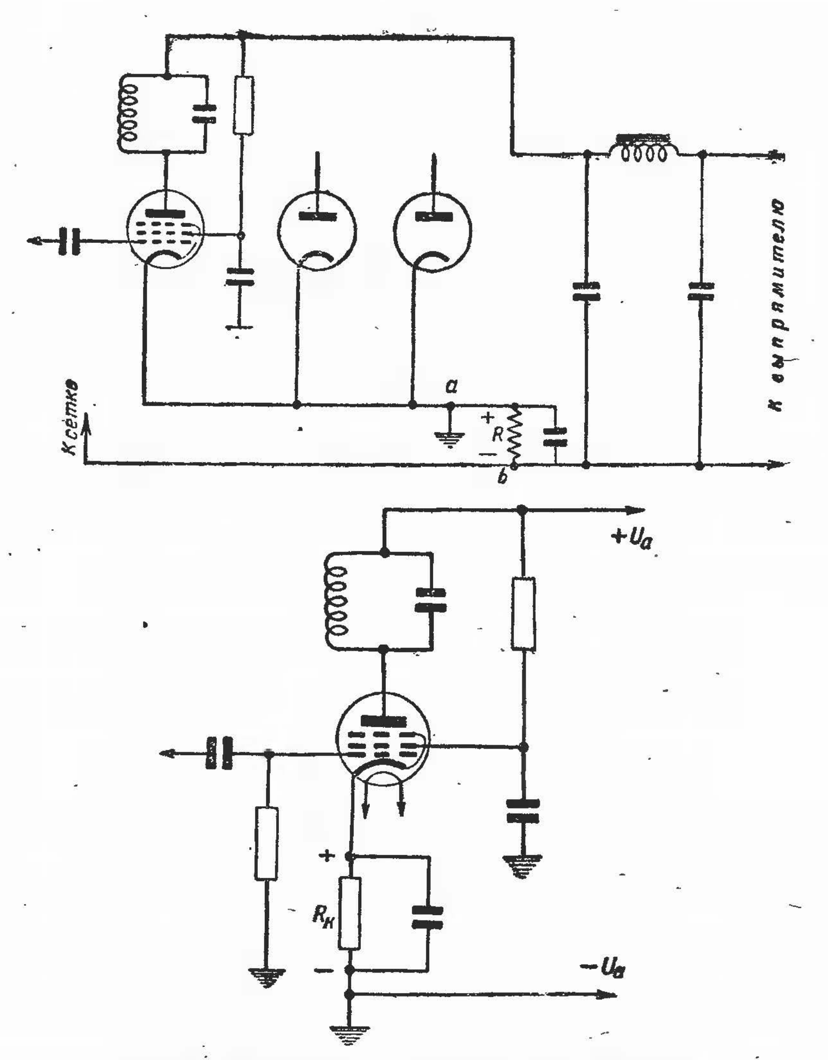
обычно повышенному току экранирующей сетки сопутствует и повышенная крутизна характеристики. Поэтому режим лампы при наличии гасящего сопротивления (фиг. 19) будет устанавливаться следующим образом: увеличенный экранный ток вызовет увеличенное падение напряжения на сопротивлении R_{g2}. Это, в свою очередь, приведет к понижению действительного напряжения на экранирующей сетке, а понижение U_{g2} повлечет за собой уменьшение крутизны характеристики и вместе с тем и уменьшение усиления каскада. И наоборот, у лампы с пониженными значениями экранного тока и крутизны характеристики напряжение на экранирующей сетке по тем же причинам повысится и усиление возрастет. Таким образом, оказывается, что лампа автоматически устанавливает для себя режим, уменьшающий разницу в усилении при смене ламп.

Поэтому наибольшее распространение имеют схемы питания экранных цепей через последовательное сопротивление, как более экономичные.

Отрицательное смещение для подачи на управляющую сетку лампы в приемниках с сетевым питанием может быть получено двумя основными способами.

1) С помощью сопротивления, включенного в „минусовой" провод выпрямителя (фиг. 21, *а*). В этом случае заземляется точка *а* выпрямителя; анодный ток всех ламп I_a, проходя по сопротивлению R, создает на нем падение напряжения, равное I_aR, причем на конце *b* сопротивления образуется отрицательный потенциал относительно точки *а*. Это падение напряжения или часть его и используется для получения на управляющих сетках ламп отрицательного смещения.

2) С помощью сопротивления, включаемого в цепь катода лампы (фиг. 21, *б*). Этот способ получил наиболее широкое применение. Здесь отрицательное смещение получается за счет падения напряжения на сопротивлении $R_к$ при прохождении по нему анодного тока данной лампы. Такая схема часто называется схемой с „автоматическим смещением". Подобно рассмотренной раньше схеме питания экранной цепи и в данном случае имеет место автоматическая регулировка смещения в зависимости от величины анодного тока лампы. При большом анодном токе устанавливается несколько бо́льшая величина смещения, при малом—несколько меньшая. Таким образом, получается, что исходная рабочая точка, определяющая начальный ток лампы, т. е. ток покоя, в отсут-



Фиг. 21. Схемы подачи отрицательного смещения на сетку лампы.

ствии переменных напряжений оказывается примерно одинаковой при смене ламп.

Как уже отмечалось выше, во всех случаях, когда режим лампы устанавливается посредством гасящего сопротивления, включаемого последовательно в цепь того или иного электро-

да, такое сопротивление обязательно должно быть зашунтировано емкостью достаточно большой величины. В частности, недостаточная емкость, подключенная параллельно катодному сопротивлению, вызовет отрицательную обратную связь и вытекающее из этого уменьшение усиления, подобно тому как это уже указывалось для экранной цепи.

ТИПОВОЙ ИЛИ РЕКОМЕНДОВАННЫЙ РЕЖИМ

Наивыгоднейший режим для того или иного случая использования лампы может быть определен из ее характеристик. Однако, это требует дополнительных расчетов и, кроме того, полные характеристики лампы не всегда бывают под руками. Поэтому лампы снабжаются так называемыми паспортами, в которых завод-изготовитель указывает рекомендуемый для данного типа ламп рабочий режим. Такой *рекомендованный* или *типовой режим* определяется заводом применительно к основному назначению лампы. Если это усилитель мощности,— указывается режим, в котором лампа отдает установленную для нее техническими условиями мощность и находится в то же время в условиях, безопасных для ее срока службы. Для этого режима в паспорте указываются основные параметры, чтобы можно было с их помощью рассчитать все элементы каскада — выходной трансформатор, сопротивления в разных цепях лампы, емкость переходных конденсаторов и т. д. Для лампы-усилителя высокой частоты указывается режим, наивыгоднейший для такого использования, и параметры лампы в этом режиме для дальнейших расчетов. В некоторых случаях приводятся данные для двух или нескольких различных режимов использования лампы — например: 1) режимы класса А для одноламповото усилителя мощности и параметры для этого случая и 2) режим класса АВ для двухтактного каскада на тех же лампах и соответствующие ему параметры.

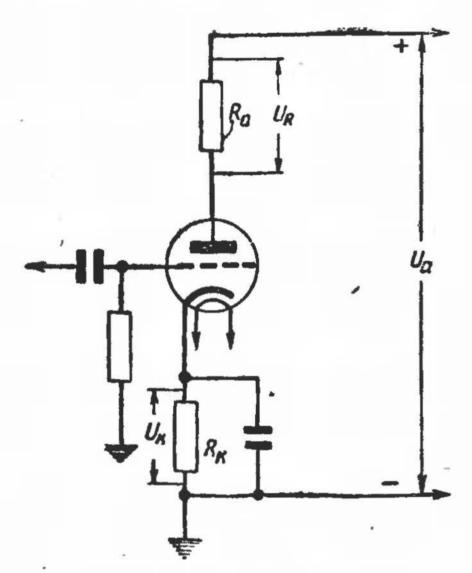
В данных о рекомендованном режиме указывается величина напряжения на аноде, на экранирующей и на управляющей сетках и величина анодного и экранного токов в исходной точке, значение коэффициента усиления, крутизны характеристики, внутреннего сопротивления. Указывается также значение наивыгоднейшей нагрузки (для усилителей мощности), допустимая мощность рассеяния на электродах лампы, полезная мощность в анодной цепи и коэффициент нелинейных искажений при этом; иногда приводятся некоторые дополнительные данные.

В большинстве случаев на практике лампа используется именно в рекомендованном типовом режиме.

Однако, нельзя считать, что этот режим оказывается наивыгоднейшим для всех случаев жизни. Зная характер зависимости параметров лампы от режима, можно выбрать для нее по типовым характеристикам условия, которые могут дать ряд преимуществ для данного конкретного случая по сравнению с рекомендуемым режимом. Например, для батарейного приемника может оказаться более выгодным такой режим ламп, в котором они дают несколько пониженное усиление, но потребляют значительно меньший ток. Так, для лампы 2К2М, работающей в качестве усилителя высокой частоты, рекомендованный режим будет: $U_a = 120$ *в*, $U_{g2} = 70$ *в*, $U_{g1} = -0{,}5$ *в* и соответственно: $I_a = 1{,}9$ *ма*, $I_{g2} = 0{,}7$ *ма*, $S = 0{,}95$ *ма/в*, $R_i = 1$ *мгом*. С анодной нагрузкой в виде контура с $Z = 100\,000$ *ом* лампа может дать усиление в $0{,}95 \cdot 100 = 95$ раз. Снизив напряжение на экранирующей сетке до 50 *в*, мы уменьшим крутизну характеристики до $S = 0{,}8$ *ма/в*, а потребление тока лампы снизится до $I_a = 0{,}8$ *ма*, $I_{g2} = 0{,}3$ *ма*. Усиление упадет до $0{,}8 \cdot 100 = 80$ раз, т. е. на 18%, а расход тока от анодных батарей уменьшится на 65%, т. е. более чем вдвое.

Типовые рекомендованные режимы ламп являются ценными в двух отношениях: во-первых, они дают возможность конструктору рассчитать работу усилительного каскада с данной лампой и подобрать наиболее выгодные условия работы каскада, отвечающие поставленным требованиям, и, во-вторых, дают исходные данные, позволяющие произвести проверку режима работы ламп в приемнике, чтобы убедиться, насколько правильно используются в нем лампы, насколько режим их работы близок к рекомендованному.

Все это оказывается верным в полной мере в тех случаях, когда лампа используется в схемах, в которых анодная нагрузка не является обыкновенным омическим сопротивлением, а представляет некоторый импеданс, т. е. обладает значительным сопротивлением для переменного тока высокой или звуковой частоты, но малым сопротивлением для постоянного тока. В таких случаях действительное напряжение на аноде и прочих электродах оказывается почти равным напряжению источника питания и параметры лампы соответствуют тем величинам, которые указываются в типовой характеристике.



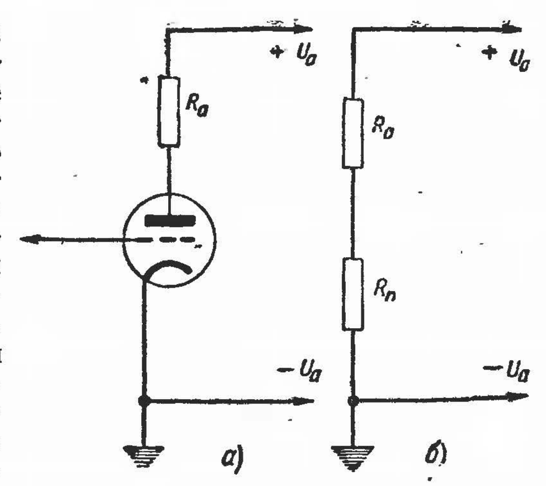
Фиг. 22. Схема усилителя на сопротивлениях (реостатная).

Если же анодная нагрузка является омическим сопротивлением, анодное напряжение существенно уменьшается за счет падения напряжения на R_a при прохождении по нему анодного тока. В таких случаях расчет усиления каскада по типовым параметрам лампы осложняется и при проверке режима лампы в приемнике нужно производить измерение не только на самих электродах лампы, но и на различных участках той или иной цепи. Например, в случае реостатного каскада, работающего по схеме фиг. 22, напряжение на аноде лампы дожно быть равно напряжению источника питания U_a за вычетом падения напряжения на катодном сопротивлении $R_к$ и на сопротивлении анодной нагрузки R_a; если R_a представляет высокоомное сопротивление, то действительное напряжение на аноде может оказаться очень небольшим и параметры лампы—крутизна ее характеристики, коэффициент усиления и внутреннее сопротивление будут совершенно не такими, как указывается в типовых данных. Для расчетов в этих случаях удобнее всего пользоваться семейством анодных характеристик лампы, которое позволяет учесть все изложенные выше обстоятельства.

ПРОВЕРКА РЕЖИМА ЛАМП В ПРИЕМНИКЕ

Чтобы убедиться в правильном использовании ламп в приемнике, нужно проверить режим их работы. Для этого нужно измерить напряжение на электродах ламп — на аноде, экранирующей сетке, напряжение смещения на управляющей сетке и напряжение на прочих электродах, если таковые имеются.

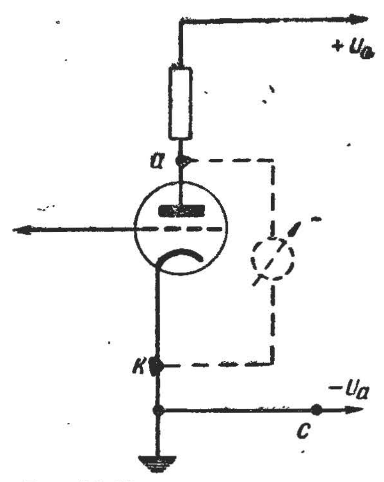
При измерении напряжения на каком-либо электроде с помощью вольтметра необходимо иметь в виду, что в большинстве случаев в цепи каждого электрода оказывается включенным сопротивление. Обычно такие сопротивления бывают высокоомными и это обстоятельство имеет весьма существенное значение при измерении напряжения на том или ином электроде.



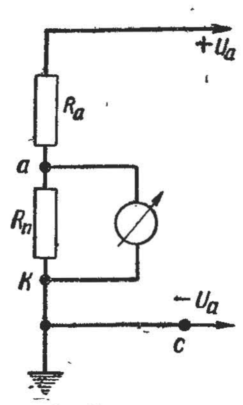
Фиг. 23. Эквивалентная схема реостатного каскада для постоянного тока.

Чтобы сделать этот вопрос более ясным, поясним сказанное примером.

Пусть требуется измерить напряжение на аноде лампы, работающей в качестве усилителя низкой частоты по схеме фиг. 23. В этом случае напряжение анодиой батареи (или выпрямителя) распределится между двумя участками: один из них — сопротивление анодной нагрузки R_a, второй — сопротивление лампы постоянному току $R_{пост}$ (которое не следует смешивать с внутренним сопротивлением лампы R_i, как это описано на стр. 10). Эквивалентная схема будет иметь вид, изображенный на фиг. 23,*б*, т. е. будет представлять цепь из двух сопротивлений, соединенных последовательно. При измерении напряжения на аноде лампы вольтметр придется подключить, как показано на фиг. 24, т. е. параллельно участку *а—к* (анод лампы — катод лампы), или, что то же,—к точкам *а* и *с* (анод лампы—минус аиодной батареи). На эквивалентной схеме это будет выглядеть, как показано на фиг. 25. Правильность измерения в этом случае будет зависеть от величины собственного сопротивления вольтметра. Если сопротивление вольтметра недостаточно велико по сравнению с сопротивлением того участка, на котором производится измерение, то режим лампы при подключении вольтметра резко нарушит-



Фиг. 24. Измерение напряжения на аноде лампы.



Фиг. 25. Эквивалентная схема при измерении постоянного напряжения на аноде лампы.

ся. Вольтметр будет указывать не то действительное напряжение на аноде лампы, которое имеет место в приемнике в рабочих условиях, а заниженное значение, устанавливающееся при подключенном вольтметре. Для уменьшения ошибки нужно, чтобы прибор обладал возможно большим собственным сопротивлением, т. е. потреблял на себя как можно меньше тока. Рассмотрим теперь на числовом примере, какие ошибки могут иметь место при измерении.

Пусть сопротивление лампы постоянному току $R_{пост} = 50$ *ком*. (При анодном напряжении в 250 *в* через лампу проходит ток в 5 *ма*). Сопротивление анодной нагрузки $R_a = 50$ *ком* также.

Предположим, что вольтметр, с помощью которого производится измерение, обладает сопротивлением $R_{пр} = 25\,000$ *ом* на шкале 250 *в*. Полное напряжение анодной батареи $U_{бат} = 250$ *в*, очевидно, распределяется в рабочих условиях между соединенными последовательно сопротивлениями R_a и $R_{пост}$. Так как общее сопротивление их будет $50 + 50 = 100$ *ком*, то в цепи будет проходить ток $I_1 = \frac{U_{бат}}{R_{общ}} = \frac{250}{100} = 2{,}5$ *ма*. Поскольку сопротивление $R_a = R_{пост}$, то на каждом из сопротивлений получается падение напряжения $U_R = R \cdot I_1 = 50\,000 \times$

$\times 0{,}0025 = 125$ *в*. Будем теперь измерять напряжение на аноде лампы (т. е. на сопротивлении $R_{пост}$) с помощью нашего вольтметра. Его придется подключить, как показано на фиг. 24. Тогда сопротивление участка *а—к* (анод — катод), состоящего теперь уже из двух соединенных параллельно сопротивлений $R_{пост}$ и $R_{пр}$, будет равно:

$$R' = \frac{R_{пост} R_{пр}}{R_{пост} + R_{пр}} = \frac{50 \cdot 25}{75} = 16{,}7 \text{ ком.}$$

Полное сопротивление всей цепи будет, очевидно:

$$R'_{общ} = 16{,}7 + 50 = 66{,}7 \text{ ком.}$$

Сила тока в цепи

$$I' = \frac{U}{R'_{общ}} = \frac{250}{66{,}7} \approx 3{,}73 \text{ ма.}$$

Падение напряжения на участке *а — к* будет:

$$U'_{а-к} = I' \cdot R' = 3{,}73 \cdot 16{,}7 = 72{,}5 \text{ в},$$

а на сопротивлении R_a падение напряжения станет равно

$$U'_{Ra} = 3{,}73 \cdot 50 = 187{,}5 \text{ в.}$$

Мы видим, что при подключении к лампе вольтметра картина распределения напряжений в цепи резко меняется за счет перераспределения токов и поэтому показание вольтметра значительно отличается от истинного значения напряжения, которое будет на аноде лампы в рабочем режиме, т. е. при отсутствии вольтметра.

Ошибка измерения в нашем случае оказалась очень большой — измеренное напряжение было на 42% меньше действительного. Чтобы показание вольтметра при измерении соответствовало действительному значению напряжения в рабочих условиях, нужно, чтобы сопротивление вольтметра было значительно больше (по крайней мере, раз в 10) сопротивления того участка цепи, на котором производится измерение. При измерении режима ламп приходится иметь дело с цепями, обладающими весьма большим сопротивлением, и вследствие этого обычные электротехнические измерительные приборы для этой цели оказываются непригодными. В качестве

вольтметров приходится использовать приборы с высокой чувствительностью, например прибор, обладающий чувствительностью в 1 *ма* (т. е. у которого полное отклонение стрелки происходит при токе в 1 *ма*), дает возможность получить вольтметр с сопротивлением в 1 000 *ом* на 1 *в* шкалы. Это значит, что для получения шкалы на 250 *в* к нему придется придать такое последовательное сопротивление, чтобы общее сопротивление вольтметра оказалось равным 250 000 *ом*. На шкале 500 *в* полное сопротивление вольтметра будет равно 500 000 *ом*. Такой вольтметр дает более или менее удовлетворительные результаты при измерениях режима ламп в тех случаях, когда сопротивления в схеме имеют значения такого порядка, как в разобранном выше примере. Если для того же случая произвести расчет, подобный приведенному выше, но считать, что вольтметр обладает сопротивлением в 250 000 *ом*, то окажется, что измеренное таким вольтметром напряжение на аноде лампы будет 114 *в*, т. е. уже значительно ближе к истинному. Ошибка измерения составит в этом случае всего около 10%. Но в случае, когда приходится измерять режим ламп с более высокоомными сопротивлениями в цепях, вольтметр с сопротивлением 1 000 *ом* на вольт оказывается уже мало пригодным, так как погрешность измерения значительно увеличивается. Хороший вольтметр для измерения режима ламп должен обладать сопротивлением порядка 10—20 тыс. *ом/в*. Удовлетворительные результаты могут быть получены с вольтметром, имеющим сопротивление 5 000 *ом/в*, как, например, в выпускаемом промышленностью приборе ТТ-1. Любительский авометр, описанный в № 3 журнала «Радио» за 1948 г., имеет сопротивление всего в 1 600 *ом/в*.

Следует учитывать, что высокоомный вольтметр нельзя сделать из обычного низкоомного прибора путем простого добавления к нему добавочного сопротивления. Это только уменьшит ток через прибор при данной величине напряжения и приведет к тому, что стрелка отклонится на меньший угол. Как уже указывалось, для того чтобы получить высокоомный вольтметр, нужно использовать в качестве индикатора чувствительный прибор. Так, прибор с чувствительностью в 50 *мка* дает возможность сделать вольтметр с сопротивлением 20 000 *ом* на 1 *в* шкалы.

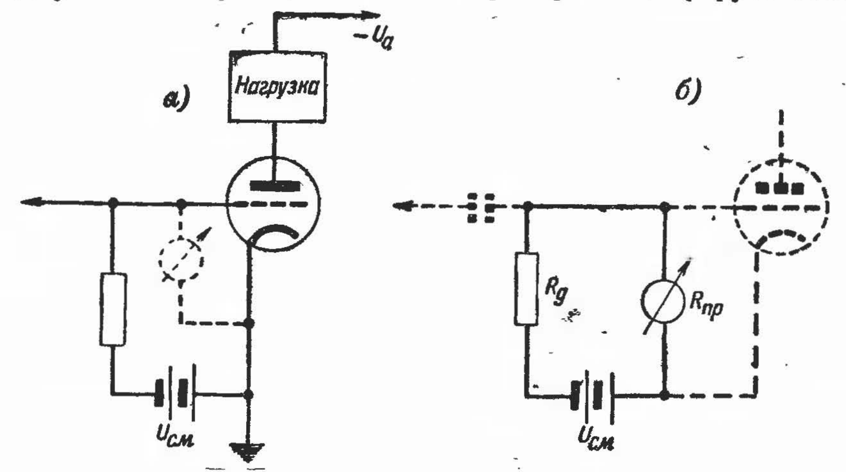
При измерении режима ламп с помощью вольтметров, обладающих недостаточно высоким собственным сопротивлением, нужно учитывать изложенные выше обстоятельства и помнить, что в этих случаях получаемые при измерении циф-

ры следует рассматривать как относительные; можно пользоваться ими как сравнительными или контрольными, считая, что они позволяют судить о том, насколько измеренный режим отличается от правильного, который был ранее замерен с помощью того же прибора.

Особенно резкая разница между измеренными и действительными значениями напряжения получается в сеточных цепях, где обычно используются высокоомные сопротивления порядка 0,5—1 *мгом*. В анодных цепях высокочастотных ламп и в выходных каскадах омическое сопротивление нагрузок обычно бывает мало и в таких случаях напряжение можно измерять достаточно точно с помощью менее высокоомных вольтметров.

Величина напряжения смещения на сетках ламп обычно составляет всего несколько вольт и лишь у выходных ламп достигает значения порядка — 15—20 *в*. Следовательно, для измерения таких напряжений придется воспользоваться «низковольтной» шкалой вольтметра — для большинства ламп удобной окажется шкала с полным отклонением стрелки при 10—15 *в*. Если используется вольтметр с сопротивлением 1 000 *ом/в*, то при такой шкале полное сопротивление прибора будет иметь значение всего порядка 10 000—15 000 *ом*.

При измерении с помощью такого вольтметра напряжения смещения лампы, у которой имеется в цепи сетки высокоомное сопротивление утечки, получатся совершенно абсурдные результаты. Приводимый ниже пример иллюстрирует это.



Фиг. 26. Измерение напряжения смещения на сетке лампы.

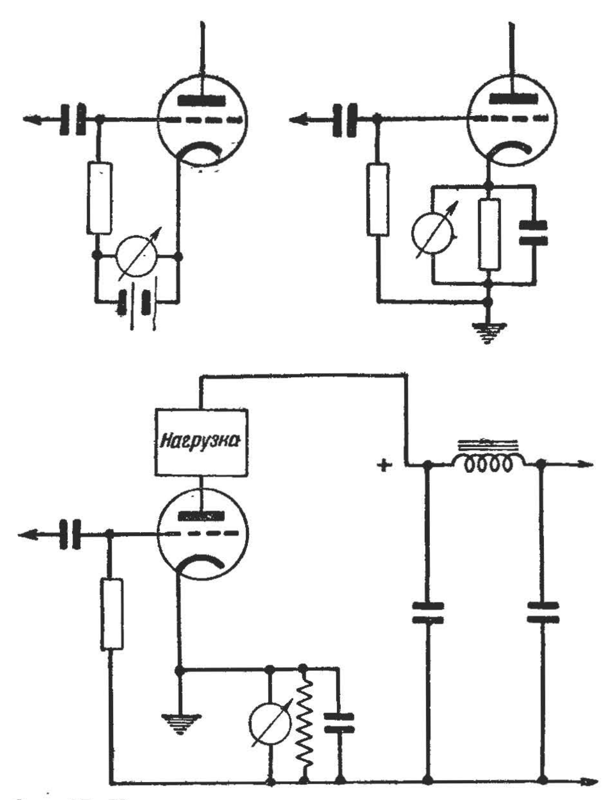
Пусть требуется измерить напряжение смещения на сетке лампы, схема которой изображеиа на фиг. 26, *а*. Источником этого напряжения является батарея $U_{см}$. Если напряжение смещения мы будем измерять непосредственно на ножках лампы, между сеткой и катодом, то вольтметр окажется включен так, как это показано на той же фигуре; на фиг. 26,*б* выделена отдельно цепь измерения. Мы видим, что вольтметр в этом случае подключается к источнику напряжения через сопротивление утечки, и все напряжение этого источника $U_{см}$ распределится между двумя сопротивлениями R_g и $R_{пр}$. Поскольку величина R_g во много раз превосходит сопротивление прибора $R_{пр}$, подавляющая часть напряжения U_g упадет на R_g и лишь ничтожная — на вольтметре. Так, если $R_g = 1$ *мгом*, а $R_{пр} = 10\,000$ *ом*, то при $U_g = -3$ *в* вольтметр будет показывать напряжение, определяемое из выражения

$$U_{вольтм} = \frac{U_g \cdot R_{пр}}{R_g + R_{пр}} = \frac{3 \cdot 10\,000}{1\,010\,000} = \frac{3}{101},$$

т. е. иначе говоря, стрелка вольтметра почти не отклонится. Даже если вольтметр будет обладать сопротивлением в 10 000 *ом* на вольт, картина мало улучшится. В этом случае при шкале в 10 *в* полное сопротивление вольтметра будет равно 100 000 *ом* и его показание будет:

$$U_{вольтм} = \frac{3 \cdot 100\,000}{1\,100\,000} = 0{,}3 \text{ в}.$$

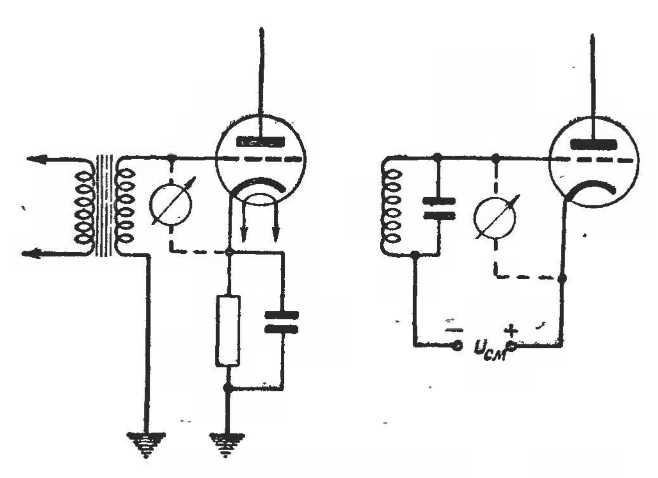
Отсчет будет в 10 раз меньше действительного напряжения. Чтобы несколько улучшить результаты при измерении напряжения смещения на сетках ламп, обычно приходится пользоваться вольтметрами с менее чувствительной шкалой, например со шкалой на 100 *в*. Это приводит к повышению полного сопротивления вольтметра и, таким образом, показание вольтметра оказывается более близким к действительному напряжению. Но такой способ обладает другим недостатком — отсчет приходится производить в самом начале шкалы, при крайне незначительном отклонении стрелки прибора, а это существенно уменьшает точность измерения. Поэтому лишь самые чувствительные стрелочные приборы могут быть использованы для измерения напряжения в подобных схемах. В противном случае приходится измерять напряжение не непосредственно на сетке, а до сопротивления утечки, на кон-



Фиг. 27. Измерение напряжения сеточного смещения на источнике напряжения.

цах, идущих непосредственно к источнику смещения, как показано на фиг. 27 для разных вариантов схем. Недостатком такого способа измерения является то, что при нем приходится допускать, что нет никаких ненормальностей и повреждений в тех элементах схемы — в данном случае в сопротивлении R_g и в монтажных проводах,— через которые подается смещение на сетку. В действительности это не всегда бывает так, и полноценная проверка режима должна дать возможность убедиться непосредственным и прямым измерением в том, под каким напряжением в действительности находятся электроды лампы.

Лишь в том случае, когда в цепи сетки нет высокоомных сопротивлений, а имеются такие элементы схемы, как, на-



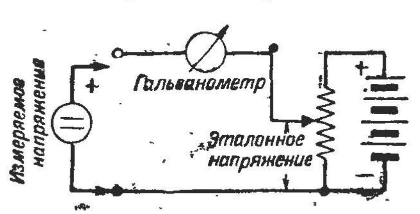
Фиг. 28. Измерение напряжения смещения непосредственно на сетке лампы.

пример, колебательный контур или обмотка трансформатора (фиг. 28), обладающие малым омическим сопротивлением, измерение напряжения на сетке с помощью стрелочного прибора (вольтметра) даст правильный результат.

В общем же случае наиболее подходящим прибором для измерения напряжения на сетках ламп является ламповый вольтметр, который при правильно выбранной схеме обладает весьма большим входным сопротивлением, не вносящим ошибки в измерение даже в цепях с высокоомными сопротивлениями. Ламповым вольтметром, имеющим соответствующий диапазон измерений, можно, разумеется, с неменьшим успехом пользоваться и для измерения напряжения и на остальных электродах лампы (на аноде, экране и т. д.). Ламповые вольтметры, пригодные для измерения режима ламп, описаны в журнале «Радио» № 10 за 1948 г. и № 6 за 1949 г.

Неплохие результаты дает в таких же случаях и так называемый компенсационный вольтметр, который по самому принципу действия вообще не потребляет никакого тока, т. е., иначе говоря, обладает входным сопротивлением, равным бесконечности, и поэтому является как бы специально предназначенным для измерения напряжения непосредственно на электродах ламп. Принцип действия компенсационного вольтметра заключается в следующем: измеряемое напряжение сравнивается с заранее известным напряжением, которое по-

лучается непосредственно в самом приборе. Оба эти напряжения включаются навстречу друг другу через чувствительный гальванометр и напряжение внутреннего источника подбирается так, чтобы оно в точности равнялось измеряемому. В этот момент оба напряжения компенсируют друг друга и ток через гальванометр будет равен нулю. Зная величину подобранного таким образом напряжения внутреннего источника, мы тем самым определяем и величину равного и противоположного ему по знаку испытуемого напряжения. Принцип такого компенсационного метода измерения иллюстрируется схемой фиг. 29. Один из вариантов практической схемы и конструкции компенсационного вольтметра описан в книге «Радиовещательные приемники» (авторы — Левитин, Певцов, Кракау).

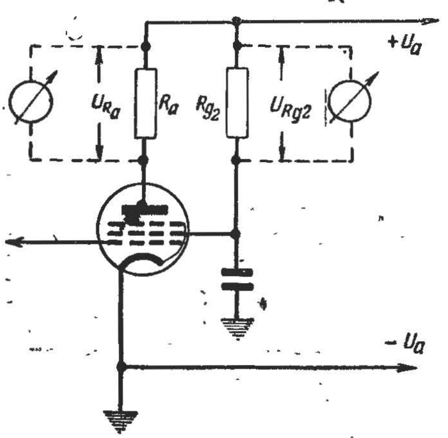


Фиг. 29. Принцип действия компенсационного вольтметра.

Измерения напряжения на электродах лампы обычно оказывается достаточно для суждения о правильности режима ее работы. Но в некоторых случаях приходится не ограничиваться этим и производить дополнительно измерение тока в цепи анода или экрана лампы. В первую очередь это относится к выходным лампам, которые при неисправности могут иметь пониженный анодный ток и не отдавать ожидаемой мощности. Пониженная эмиссия катода, приводящая к уменьшению анодного тока, может иметь место и у других ламп. В этих случаях напряжение на аноде будет оказываться несколько выше нормального и это может создать впечатление, будто в отношении режима лампы в приемнике все обстоит благополучно.

Для проверки анодного тока можно воспользоваться любым миллиамперметром, обладающим нужной шкалой. Неудобством такого измерения оказывается необходимость разорвать интересующую нас цепь для включения в нее прибора. Поэтому измерение тока таким способом производят обычно только в крайних случаях, когда другим способом определить исправность работы лампы и проверку ее режима не представляется возможным. Если в цепи анода или экрана имеется последовательно включенное сопротивление известной величины, то значение тока в этой цепи можно определить

косвенным путем, измерив падение напряжения на таком внешнем сопротивлении с помощью вольтметра, как показано на фиг. 30. В этом случае значение тока может быть получено путем деления значения измеренного напряжения на величину сопротивления, т. е. $I = \frac{U_R}{R}$, поскольку падение напряжения на сопротивлении создается за счет тока в данной цепи лампы. Значение тока I будет получено в миллиамперах, если величина R выражена в килоомах. Таким способом можно измерить и общий ток лампы. Для этого нужно измерить падение напряжения на катодном сопротивлении, если оно имеется в схеме; ток катода представляет сумму токов во всех цепях данной лампы.



Фиг. 30. Определение тока путем измерения напряжения на известном сопротивлении нагрузки.

Если точная величина сопротивления R неизвестна, то ее нужно предварительно замерить при помощи омметра. Это измерение можно произвести прямо в схеме, не отпаивая этого сопротивления в том случае, если параллельно ему не подключено какое-либо другое сопротивление. Само собой разумеется, что измерение сопротивления нужно производить, выключив предварительно источник питания приемника.

Та же лампа может быть использована в качестве усилителя низкой частоты в реостатной схеме. Для этого случая рекомендуется уже другой режим:

	1-й вариант	2-й вариант
Напряжение источника анодного питания	250 *в*	250 *в*
Напряжение на экранирующей сетке	50 *в*	33 *в*
Напряжение смещения на управляющей сетке	—2 *в*	—1,7 *в*
Сопротивление в цепи катода (для получения автоматического смещения)	3 000 *ом*	8 000 *ом*
Общий катодный ток	0,65 *ма*	0,21 *ма*
Анодная нагрузка	250 *ком*	500 *ком*

Лампа может быть использована в качестве усилителя низкой частоты по трансформаторной схеме. В этом случае электроды лампы соединяются между собой так, чтобы в результате получился не пентод, а триод. Для этого экранирующая и защитная (противодинатронная) сетки соединяются с анодом и лампа включается в схему, как показано на фигуре.

Напряжение на аноде	250 *в*
Напряжение смещения на управляющей сетке	—8 *в*
Ток в анодной цепи .	6,5 *ма*
Крутизна характеристики	1,9 *ма/в*
Коэффициент усиления	20
Внутреннее сопротивление	10 500 *ом*

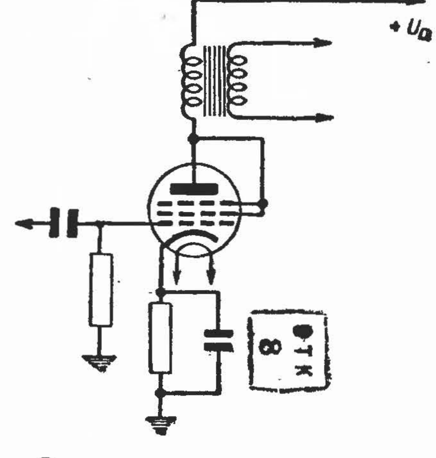


Схема триодного включения пентода в качестве усилителя по трансформаторной схеме.

По своим параметрам лампа 6Ж7 в этом случае оказывается аналогичной триоду 6С5.

Лампа может быть использована в качестве маломощного гетеродина в радиоприемниках и в измерительной аппаратуре. Для этого применяется также триодное соединение, аналогичное описанному выше.